



## **PROYECTO FIN DE CARRERA**

# **DISEÑO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA UNA COMUNIDAD RURAL EN PAÍSES EN VÍAS DE DESARROLLO.**

**APLICACIÓN EN GUATEMALA**

***DEPARTAMENTO DE ING. TÉRMICA Y DE FLUIDOS***

***AUTORA: LAURA BELLIDO JIMÉNEZ  
TUTOR: ULPIANO RUÍZ-RIVAS HERNANDO  
TITULACIÓN: INGENIERÍA INDUSTRIAL***

**NOVIEMBRE 2008**



## **Índice**

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>4</b>
Objetivo General.....	4
Objetivo Específico .....	5
Organización Del Documento .....	5
 <b>CAPÍTULO I – ANTECEDENTES .....</b>	<b>6</b>
 <b>1- EL MARCO DEL AGUA .....</b>	<b>7</b>
1.1 EL AGUA EN LA SITUACIÓN MUNDIAL.....	7
1.2 EL AGUA EN CENTROAMÉRICA .....	9
1.3 EL AGUA EN GUATEMALA .....	10
1.4 NECESIDADES BÁSICAS DE AGUA .....	12
1.4.1 El Ciclo Hidrológico.....	12
1.4.2 Calidad Del Agua .....	13
1.4.3 Cantidad De Agua .....	14
 <b>2- EL MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
2.1- HIDRAÚLICA.....	15
2.1.1 Principio De Conservación De La Energía.....	15
2.1.2 Pérdidas De Carga Longitudinales .....	16
2.1.3 Pérdidas De Carga Secundarias .....	18
2.1.4 Parámetros En Tuberías.....	19
2.2 SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN o REDES.....	21
2.2.1 Sistemas Por Gravedad .....	21
2.2.2 Redes De Distribución A Presión.....	22
2.3 SISTEMAS DE EXTRACCIÓN DE AGUA.....	24
2.3.1 La Energía.....	25
2.3.2 Altura manométrica .....	26
2.3.3 Caudal, Rendimiento y Potencia .....	27
2.3.4 Curva Característica .....	27
2.3.5 Parámetros De Bombas Manuales .....	28
2.4 SISTEMAS DE FILTRADO.....	29
2.4.1 Sistemas Físicos.....	30
2.4.2 Sistemas Químicos .....	31
 <b>3- EL MARCO TECNOLÓGICO .....</b>	<b>32</b>
3.1 OPCIONES TECNOLÓGICAS EN ABASTECIMIENTO DE AGUA.....	32
3.1.1 Sistemas Convencionales .....	35
3.1.2 Sistemas No Convencionales .....	38
3.2 SELECCIÓN DE OPCIONES TECNOLÓGICAS.....	41
3.3 SUBSISTEMAS DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA .....	45
3.3.1 CAPTACIÓN DE AGUA .....	45



3.3.1.1 Captación Mediante Pozo .....	45
3.3.1.2 Captación Pluvial (Por SCAPT) .....	46
3.3.2 EXTRACCIÓN DE AGUA .....	47
3.3.2.1 Bombas Manuales .....	48
3.3.2.2 Bombas No Manuales.....	53
3.3.3 ALMACENAMIENTO .....	54
3.3.3.1 Almacenamiento Pluvial.....	55
3.3.3.2 Almacenamiento Comunitario.....	58
3.3.3 FILTRADO DE AGUA .....	58
3.3.3.1 Filtros De Arena .....	59
3.3.3.2 Filtros De Velas Cerámicas .....	60
3.3.3.3 Cloración .....	63
3.3.4 SISTEMAS UTILIZADOS EN GUATEMALA .....	65

## **CAPÍTULO II – DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA .....**

**68**

### **1- DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN .....**

**69**

- a) ANÁLISIS SECUENCIAL DE FACTORES POBLACIONALES .....
  - b) CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA ZONA.....
- 70  
75

### **2- DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS.....**

**79**

#### **ALTERNATIVA 1: POZO Y RED DISTRIBUCIÓN.....**

**83**

- 1- CAPTACIÓN DE AGUA .....
  - 2- ALMACENAMIENTO.....
  - 2- EXTRACCIÓN DE AGUA .....
  - 3- DISTRIBUCIÓN DE AGUA.....
  - 4- FILTRADO DE AGUA .....
  - 5- CRONOGRAMA .....
  - 6- PRESUPUESTO Y LISTADO DE MATERIALES.....
- 83  
84  
85  
88  
93  
94  
95

#### **ALTERNATIVA 2: SCAPT .....**

**100**

- 1- CAPTACIÓN DE AGUA .....
  - 2- DISTRIBUCIÓN DE AGUA.....
  - 3- ALMACENAMIENTO.....
  - 4- EXTRACCIÓN DE AGUA .....
  - 5- FILTRADO DE AGUA .....
  - 6- CRONOGRAMA .....
  - 7- PRESUPUESTO Y LISTADO DE MATERIALES.....
- 101  
101  
102  
108  
111  
112  
113

### **3- COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS.....**

**115**



**CAPÍTULO III – CONCLUSIONES..... 119**

**ANEXOS..... 122**

Anexo 1- Mapa relieve de Guatemala (2000) .....	123
Anexo 2- Mapa de Isoyetas de Guatemala .....	125
Anexo 3- Datos de las Comunidades de Sayaxché (SNIP, 2003) .....	127
Anexo 4- Plano topográfico.....	129
Anexo 5- Plano de Red de distribución por gravedad .....	131
Anexo 6- Catálogo comercial Q-Beta .....	133
Anexo 7- Guía para la desinfección correcta de Cisternas.....	135

**BIBLIOGRAFÍA ..... 137**





## INTRODUCCIÓN

El presente documento conforma el proyecto final de carrera con el que finalizar los estudios de Ingeniería, y es redactado tras una estancia de tres meses en la comunidad rural de Sepur, sita en Guatemala. Durante este tiempo, se realiza el trabajo de campo necesario para dar una respuesta técnica a la necesidad de dicha comunidad respecto a un sistema de abastecimiento de agua apropiado y sostenible.

Desde el punto de vista humano, este documento surge como consecuencia de la intensa experiencia de convivencia en un país que lucha por superar las secuelas sociales de largos años de dictaduras y despotismos, así como las dificultades de pobreza y marginación a las que se ha visto abocada la mayoría de las familias rurales. Por ello, desde estas primeras líneas quiero agradecer a la Oficina de Cooperación Universitaria en la Universidad Carlos III de Madrid su apoyo a este proyecto mediante la concesión de una beca con la que poder llevar a cabo dicha estancia y estudio, a través de la *I CONVOCATORIA DE AYUDAS PARA PROYECTOS DE FIN DE CARRERA, PRÁCTICAS UNIVERSITARIAS y VOLUNTARIADO EN EL ÁMBITO DE LA COOPERACIÓN INTERNACIONAL AL DESARROLLO*.

Así mismo, quisiera agradecer a las personas que conforman la organización local, sin las que tampoco habría sido posible el trabajo de campo y la recopilación de datos: Loch'Lach'Choch (Sagrada Tierra en su traducción al castellano), organización que constituida en ONG, desarrolla labores sociales así como mejoras sanitarias y económicas en comunidades rurales de mayoría maya en las regiones septentrionales de Guatemala.

Desde el punto de vista académico, surge del interés por conformar un documento que sirva de base para el desarrollo de este tipo de proyectos de mejora para el acceso a un bien básico como es el agua en países en vías de desarrollo. Por ello, a lo largo de estas páginas se desarrolla un estudio a cerca de las diferentes opciones tecnológicas disponibles, y se ofrece también todas las bases teóricas necesarias para un correcto dimensionamiento y ejecución de cada uno de los subsistemas encargados de cubrir la carencia de acceso a un agua segura. Se propone para ello, una secuencia de análisis de factores técnicos, sociales, culturales y económicos, como clave para identificar la opción tecnológica y el nivel de servicio más idóneo para la localidad de estudio de manera que pueda dimensionarse el sistema de abastecimiento de agua adecuado a la zona y que además, pueda adaptarse en su metodología para la realización de otros estudios similares en países en vías en desarrollo.

### Objetivo General

El objetivo general del proyecto es el desarrollo de los cálculos e hipótesis necesarias para establecer un diseño apropiado para un sistema de abastecimiento de agua en una comunidad de población rural de un país en vías de desarrollo.



## **Objetivo Específico**

El objetivo específico será establecer las alternativas tecnológicas apropiadas para el desarrollo del sistema de abastecimiento de agua, para proponer una solución tecnológicamente apropiada a la necesidad real de una comunidad rural en Guatemala respecto el acceso al agua.

## **Organización Del Documento**

El texto se organiza en tres apartados claramente diferenciados en el enfoque de sus contenidos pero que se complementan para realizar un estudio completo del diseño de un sistema de abastecimiento de agua en una comunidad rural.

En la primera parte, se desarrollarán los antecedentes presentando el panorama general de acceso al agua así como todos aquellos conceptos teóricos necesarios para el diseño de cada uno de los subsistemas que conforman una solución de abastecimiento de agua. A continuación, se presentarán las soluciones tecnológicas que mejor se adaptan a la realidad de una comunidad rural en un país en vías de desarrollo, siguiendo en su presentación un esquema similar a la presentación previa de las cuestiones teóricas asociadas mediante los subsistemas propios a diseñar. Será también en esta sección, donde se propondrá una secuencia para el estudio de los diversos factores que afectan en la selección de la alternativa más apropiada para un caso genérico de estudio.

En el segundo capítulo, se realizará el diseño del sistema para dos soluciones que resulten tecnológicamente apropiadas a la comunidad en la que se realizó el trabajo de campo previo, presentando los cálculos necesarios para el correcto dimensionamiento de ambos sistemas propuestos y realizando posteriormente un análisis comparativo de ambos en el que se expondrá el alcance de objetivos así como los pros y los contras de cada una de las soluciones. A lo largo de esta sección se analizarán los recursos necesarios para una futura realización en tiempo, plazo, organización, requisición de materiales y precio para la implantación real de las alternativas en la Comunidad, de manera que quedarán patentes las dificultades en la adopción de soluciones acordes a las posibilidades de desarrollo reales de los datos y diseños propuestos.

Finalmente se expondrá un análisis del documento realizado y una valoración de futuros estudios asociados a este documento o que puedan encontrarse dentro del mismo ámbito de estudios académicos.

En los anexos asociados, se recopilarán aquellos documentos o cálculos que complementen las conclusiones del texto que por su extensión o necesidad de amplios detalles en la impresión, dificulten la lectura del documento y no resulten adaptables al mismo.

Las referencias bibliográficas se incluirán en las últimas páginas, para favorecer su consulta.



## **CAPÍTULO I – ANTECEDENTES**



## **1- EL MARCO DEL AGUA**

**D**isponer de agua potable es un requisito previo indispensable para la salud y el éxito en la lucha contra la pobreza, el hambre, la mortalidad infantil y la desigualdad de género. Es también un elemento básico para el cumplimiento de los derechos humanos y de la dignidad personal de todos los seres humanos del mundo, sean mujeres, hombres, niños o niñas. Sin embargo, una persona de cada seis dispone sólo de suministros de agua potencialmente peligrosos.

En este apartado se expone la situación global del mundo en cuanto al acceso al agua potable, comentando el contexto centroamericano, y exponiéndose las dificultades concretas del caso de Guatemala.

### **1.1 EL AGUA EN LA SITUACIÓN MUNDIAL**

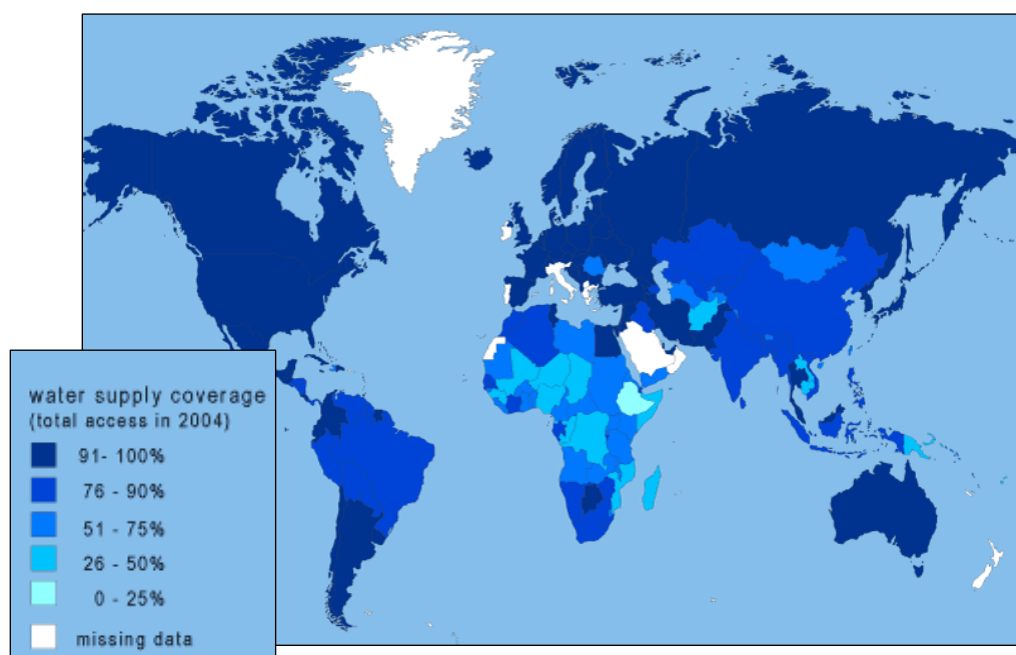
El acceso al agua potable se mide por la proporción de la población con acceso sostenible a mejores fuentes de abastecimiento de agua, siendo éste el porcentaje de la población que usa alguno de los siguientes tipos de suministro de agua potable: conexión domiciliaria por cañería, fuente pública, pozo perforado, pozo excavado protegido, manantial protegido, y recolección de agua lluvia [1].

En septiembre del año 2000, 189 Estados miembros de las Naciones Unidas aprobaron los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), comprometiéndose a reducir a la mitad el número de personas que no disponen de acceso a agua potable ni saneamiento básico para el año 2015, lo que supone un número aproximado de 2,000 millones de personas alrededor del mundo.

Son muchas las consecuencias de mejorar el acceso y calidad del agua, como por ejemplo disminuir los casos de enfermedades entre la población, reducir los tiempos dedicados a la recolección del agua que puede ser empleado en actividades educativas y productivas, promover la equidad de géneros en la diversificación de tareas cotidianas, así como una mejora de los ecosistemas.

Desde el año 1990, se ha ido avanzando en buena dirección para la consecución de los ODM y en el caso del acceso a fuentes de suministro de agua potable mejoradas, se ha pasado de un 77% de acceso a nivel mundial, a una cobertura total del 83%, lo que supone alrededor de 5.200 millones de personas. Sin embargo, debido al incremento paralelo de la población, el número absoluto de personas sin cobertura se ha reducido solamente en unos 10 millones por año [2].

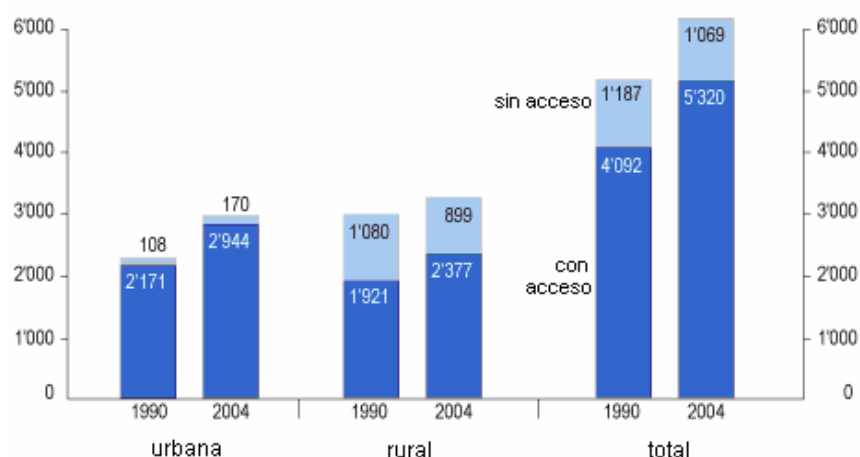
Es fácil comprender los problemas de cobertura mundiales en el mapa que se incluye a continuación, observándose graves deficiencias en el continente africano, China, India y regiones del continente americano.



*Fig.1- Cobertura mundial de agua potable, 2004*

No obstante, es necesario señalar que estos resultados enmascaran en cierta manera las dificultades de acceso a fuentes de agua mejoradas de la población rural, pues en general los sistemas e infraestructuras son mucho más deficitarios: por cada persona que no dispone de agua potable mejorada en los centros urbanos, hay seis personas en la misma situación en las zonas rurales. Ello significa que sólo el 70% de la población rural de los países en desarrollo utilizan fuentes de suministro de agua mejoradas, frente al 92% de la población urbana.

En el diagrama de barras de la figura 2 se observa esta situación de desventaja en la población rural frente a la urbana, además se comparan las mejoras conseguidas en 2004 respecto a los datos de partida de 1990 y se verifica que si bien los datos de acceso han mejorado desde entonces, también el cómputo total de personas sin acceso ha aumentado como consecuencia del incremento poblacional [3].



*Fig.2- Población (en millones) con acceso y sin acceso a fuentes de agua mejoradas*



## 1.2 EL AGUA EN CENTROAMÉRICA

Respecto a la disponibilidad hídrica total del Istmo Centroamericano cabe señalar su superioridad en cuanto a cantidad se refiere, comparada con la de muchos países en desarrollo, y aparentemente no se justificaría hablar de una crisis de agua. Sin embargo la población y la actividad económica se distribuyen en forma inversa a la distribución espacial de los recursos hídricos lo que resulta en desequilibrios que tienden a ser fuente de conflictos entre usos y usuarios, especialmente en los países de Guatemala y Nicaragua [4].

Por otro lado, las cuencas compartidas representan, a nivel de cada país, el 75% del territorio en Guatemala, el 59% en El Salvador, el 22% en Honduras, el 37% en Nicaragua, el 35% en Costa Rica y el 5% en Panamá. De este hecho surge una interdependencia entre las distintas municipalidades que se abastecen de las mismas fuentes de agua, de manera que las actuales políticas centroamericanas se encaminan hacia una Gestión Integral de los Recursos Hídricos (GIRH).

Las bases de esta Gestión quedaron sentadas en los acuerdos de Dublín<sup>1</sup> de 1992, y entre ellas cabe destacar: la limitación y vulnerabilidad del agua dulce como recurso esencial para la preservación de la vida, el desarrollo y el medio ambiente; el enfoque participativo en la gestión hídrica; el reconocimiento crucial del rol de las mujeres en el suministro, gestión y protección de las aguas; así como el valor económico del recurso hídrico y la necesidad de una gestión medioambiental sostenible de los proyectos de mejora a desarrollar.

La meta regional centroamericana es del 92% de población con acceso a fuentes de agua mejorada, lo cual supone proporcionar un acceso adecuado anual de 8 millones de personas en la década 2005-2015. Según los datos ofrecidos por la ONU, los países latinoamericanos y el Caribe poseen una desviación inferior al 5% de alcance del objetivo en la evaluación de 2004 [3].

REGIÓN	POBLACIÓN		ACCESO FUENTE DE AGUA MEJORADA						
	Total (millones)	Urbana (%)	Cobertura (%)		Cobertura requerida para alcanzar ODM (%)	Objetivo (%)	Crecimiento medio anual (millones)		
							Población con acceso	Población requerida para alcanzar objetivo	Progreso hacia el Objetivo
	2015	2015	1990	2004	2004	2015	1990-2004	2005- 2015	1990-2004
América Latina y el Caribe	634.103	81	83	91	88	92	8,9	8	Desviación menor al 5%

*Fig.3- Cumplimiento del ODM de acceso al fuentes mejoradas para América Latina y el Caribe*

Sin embargo la realidad de cada uno de estos países, que engloba el extenso territorio desde México hasta la Tierra del Fuego, no es tan halagüeña.

<sup>1</sup> Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente (CIAMA), Dublín 1992



Se expone a continuación el contexto concreto de Guatemala dentro de todos estos datos generales.

### 1.3 EL AGUA EN GUATEMALA

Guatemala está ubicada en el centro geográfico del continente americano, siendo un país montañoso de posición geográfica intertropical que goza de un clima cálido. La precipitación promedio anual es de aproximadamente 2,000 mm, con variaciones que van desde los 700 mm en las regiones secas del oriente hasta los 5,000 mm en la zona norte y occidente. Generalmente la lluvia se concentra en los meses de junio y septiembre, con un período de menor precipitación entre julio y agosto. En las regiones secas la estación sin lluvias es de seis meses, que comprenden de noviembre a abril, mientras que para las regiones más húmedas, comprende de dos a tres meses [5].

El estudio del Balance Hídrico Nacional presentado en 2006 y que se resume en la figura 4, permite pensar que en términos generales Guatemala está lejos de tener problemas de disponibilidad de agua, debido a que la demanda actual registrada es de 7.652 m<sup>3</sup> frente a una caudal neto disponible de 32.686 m<sup>3</sup>, lo que representa tan sólo un 23,4% de utilización global del total disponible [6].

BALANCE HÍDRICO	Volumen anual (millones de m <sup>3</sup> )
Oferta bruta superficial	53.365
Oferta bruta subterránea	40.024
<b>Oferta bruta total</b>	<b>93.388</b>
Caudal ecológico	23.347
Reducción por contaminación	37.355
<b>Caudal neto disponible</b>	<b>32.686</b>
<i>Usos del agua</i>	
Doméstico	326
Riego	1.886
Industria	929
Hidroeléctricas	4.511
<b>EXCEDENTE</b>	<b>25.034</b>

Fig.4- Balance Hídrico y usos consuntivos del agua

Sin embargo, se pueden resumir en tres los grandes problemas asociados al manejo del recurso hídrico en Guatemala: en primer lugar, como ya se ha apuntado en el apartado anterior, se observa una distribución poblacional inversa a la riqueza hídrica; en segundo lugar la estacionalidad de las precipitaciones, que marca dos períodos anuales; y en tercer lugar, la carencia histórica de una planificación y coordinación básica en su gestión.

Para entender las consecuencias de la estacionalidad, resulta necesario observar el análisis semestral de precipitaciones, en el que se revela que en los meses de la época seca alrededor del 50% del territorio nacional presenta problemas importantes

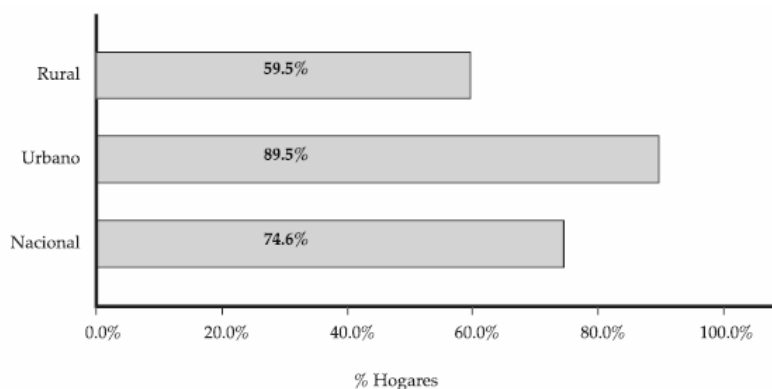


para abastecerse de agua. Respecto a la época lluviosa, casi ninguno de los departamentos del país posee serios problemas en cuanto a la disponibilidad del recurso. Más al contrario, estos meses se caracterizan por inundaciones y derrumbes producto de las intensas lluvias y de la creciente degradación de los sistemas vegetales.

En términos de impacto, sobresalen los problemas asociados a la calidad de las aguas superficiales y de aguas subterráneas poco profundas: las aguas negras provenientes del sector doméstico y los flujos agrícolas ocasionan la contaminación biológica del agua. Además, estudios realizados por el INSIVUMEH<sup>2</sup> sobre la calidad del agua, revelan la existencia de elementos de alta toxicidad como boro, cianuro, cromo y plomo, así como exceso de aluminio y manganeso, en alguno de los ríos más importantes. De hecho, se han reportado cerca de medio millón de casos a nivel nacional de diarreas en los últimos tres años (2002-2004), y otras muchas enfermedades vinculadas directamente con el agua contaminada como el cólera, la fiebre tifoidea, shigelosis y hepatitis A, que han sido causas de mortalidad.

Dentro de este contexto es necesario señalar que en el 39% de hogares guatemaltecos no se aplica tratamiento alguno al agua previo a su ingesta, resaltando el caso concreto de El Petén, donde el 52% de la población no aplica ningún tratamiento previo a la ingesta de agua, tan sólo el 32% la hierve, y un 14% aplica la cloración [6].

Para finalizar, se presentan en la figura 5 los datos de cobertura de acceso a fuentes de agua mejoradas que reflejan los avances hacia los ODM: en el caso de Guatemala el objetivo final es del 82% de población con acceso para 2015.



*Fig.5- Cobertura de fuentes mejoradas de agua, datos 2002*

Se comprueba una vez más las grandes diferencias en el acceso respecto a las zonas urbanas y rurales. Además si se desglosan las coberturas en el área rural, se observa que más de la mitad de la población rural carece de servicio y casi un 30 % ni siquiera tiene un fácil acceso.

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Vulcanológicas Meteorológicas e Hidrológicas



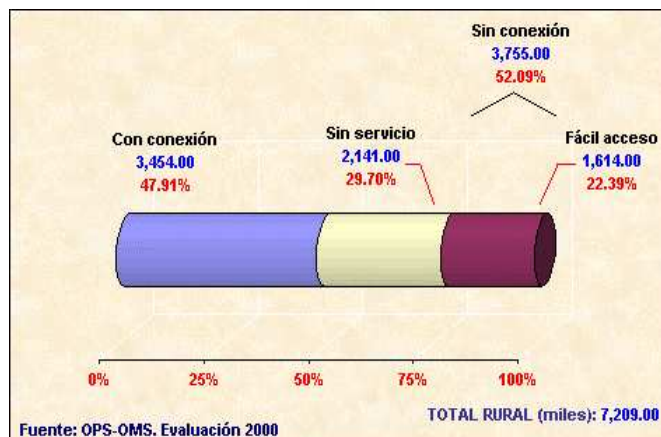


Fig.6- Cobertura de fuentes mejoradas de agua rural

Así como se observan diferencias según el lugar de residencia, también las hay marcadas por departamento y región dentro del país, destacándose los mayores déficit de este servicio en las áreas rurales de los departamentos de Retalhuleu (70.2%), Escuintla (69.1%), Alta Verapaz (63.5%) y el especialmente en el departamento de Petén (63.8%).

Finalmente, señalar que si se mantienen las tendencias de crecimiento de población proyectadas por el último Censo de Población (INE 2002), alcanzar la meta para año 2015 supondría un total de casi 15 millones de personas con acceso. Ante este reto, se estima que las inversiones necesarias en agua y saneamiento en el período 2002-2015, representan una inversión total anual promedio de cerca de Q 937 millones (US\$ 123.3 millones), lo que representa aproximadamente el 0.20% del PIB: en otras palabras, supone duplicar los niveles de inversiones observados en los últimos 5 años. Un gran compromiso en el que actualmente está inmerso el Gobierno guatemalteco.

## 1.4 NECESIDADES BÁSICAS DE AGUA

Disponer de agua es importante para el desarrollo de las actividades cotidianas en el nivel doméstico, comercial e industrial. Sin embargo, no basta con tener agua: ésta tiene que ser de buena calidad, se debe proveer en cantidad suficiente de manera continua a lo largo del día, teniendo un coste asequible y evitando su derroche mediante una adecuada cultura hídrica. Estos criterios son conocidos como las “seis C”, que deben conjugarse en un buen servicio de abastecimiento de agua:

**Cobertura - Continuidad - Calidad - Coste - Cantidad - Cultura hídrica**

### 1.4.1 El Ciclo Hidrológico

Conocer el proceso de circulación del agua entre los distintos sectores de la hidrosfera, ayudará al diseño y selección del sistema de abastecimiento de agua. Así,



se puede explicar el ciclo hidrológico en base a una serie de estados por los que pasa el agua [8]:

- la condensación, precipitación (lluvias, nieve, granizo)
- escorrentía superficial (ríos, riachuelos, lagos naturales o artificiales, reservorios de almacenamiento, etc.)
- evaporación y,
- recarga del agua subterránea (agua que percola a través de los estratos de la tierra, y conforma los ríos subterráneos o acuíferos).

Los procesos de precipitación, escorrentía y evaporación están en equilibrio; por ello, es posible expresar el equilibrio existente en la Tierra mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Precipitación} = \text{Evaporación} + \text{Escorrentía Superficial} + \text{Escorrentía Subterránea}$$

### 1.4.2 Calidad Del Agua

La importancia del agua como vehículo para la transmisión potencial de enfermedades es la preocupación principal en el control de la calidad del agua, por lo que la OMS ha publicado pautas para fijar estándares de calidad [9]. Los parámetros asociados a los aspectos físicos y químicos se recogen en la siguiente tabla:

Característica	Unidades	Valores Guía OMS	Característica	Unidades	Valores Guía OMS
Sólidos disueltos	mg/l	1 000	Aluminio - Al	µg/l	200
Color	mg/l Pt	15	Antimonio - Sb	µg/l	5
Sabor	FTN	acceptable	Arsénico - As	µg/l	10
Olor	TON	acceptable	Cadmio - Cd	µg/l	3
pH	pH units	<8.0	Cromo - Cr	µg/l	50
Turbiedad	NTU	< 5	Cobre - Cu	µg/l	2 000
Amoníaco as N	mg/l	1.5	Cianuro(libre) - CN	µg/l	70
Cloruro - Cl	mg/l	250	Hierro - Fe	µg/l	0,3
Fluoruro - F	mg/l	1.5	Plomo - Pb	µg/l	10
Nitritos&nitratos - N	mg/l	< 1	Manganeso - Mn	µg/l	100
Sodio - Na	mg/l	200	Mercurio - Hg	µg/l	1
Sulfatos - SO <sub>4</sub>	mg/l	250	Níquel - Ni	µg/l	20
Zinc - Zn	mg/l	3	Selenio - Se	µg/l	10

*Fig.7- Valores internacionales recomendados por la OMS, para las distintas características a tener en cuenta en la calidad del agua potable.*

Respecto a los parámetros microbiológicos, el primer indicador recomendado para asegurar que el agua está libre de bacterias indicadoras de contaminación fecal es el Grupo Coliforme (conjunto de organismos coliformes, llamados así por su forma de coma en una vista del microscopio). De manera que un análisis de E.Coli será recomendable al evaluar la calidad del agua.



### **1.4.3 Cantidad De Agua**

La cantidad de agua requerida por una persona en un día, está determinada por una serie de factores tan diversos como son el clima, el nivel de actividad o carga de trabajo, la dieta, los hábitos de higiene o la distancia al punto de abastecimiento [10].

En primer lugar se tiene el denominado como *consumo mínimo vital*: se considera que un mínimo de 7,5 l/p/d (litros de agua por persona y día) es suficiente para cubrir las necesidades de hidratación y de incorporación a los alimentos de la mayoría de las personas y en la mayor parte de las situaciones.

A esta necesidad de consumo directo de agua, hay que añadirle el consumo de agua necesaria para diversos usos domésticos, como la elaboración de alimentos, el lavado de la ropa y la higiene personal y doméstica. La cantidad mínima que se fija para el diseño, a partir de datos de la OMS, resulta una demanda diaria de 20 l/p/d para situaciones de emergencia, aunque para países en vías de desarrollo se extiende al rango de 40-80 l/p/d. También el tipo de fuente de abastecimiento influye en el criterio de diseño, de manera que en el caso de conexiones individuales en hogar, que proporcionan un nivel más alto de servicio, requieren diseñar una demanda diaria mínima de 50 l/p/d.

Por otro lado, es necesario señalar que la accesibilidad a la fuente de agua además de conservar una relación inversamente proporcional con el consumo medio diario, influye también en los hábitos de consumo. Se ha demostrado que una falta de acceso fácil al punto de abastecimiento, reduce las cantidades destinadas a la higiene personal, con las graves consecuencias que para la salud ello puede conllevar. En la figura 8 se presentan las conclusiones del estudio de Howard y Bartram [11] sobre los parámetros que clasifican en cuatro el nivel de servicio, y la valoración de su efecto sobre la salud:

En el caso de Guatemala, como ya se ha comentado, existen además problemas derivados de la estacionalidad del acceso al agua: si el acceso es óptimo pero el abastecimiento es intermitente, la operación de los sistemas relacionados con el abastecimiento de agua podría verse afectada y generar mayores riesgos de salud. En este sentido, las cantidades estimadas de agua podrían no ser suficientes en determinados momentos lo que incrementaría el riesgo de uso de agua contaminada como complemento a los sistemas de abastecimiento diseñados. Así pues, esta temporalidad habrá de ser contrarrestada mediante alguna solución técnica como puede ser un sistema de almacenamiento apropiado.

Si bien los beneficios para la salud debido al mayor acceso al agua podrían parecer limitados desde el punto de vista social, se deben tener especial atención en el caso de las mujeres y niñas, que habitualmente se encargan de desempeñar las labores de acarreamiento de agua: ese tiempo pudiera ser mejor invertido en cuidados e higiene, en la correcta preparación de alimentos, en actividades productivas y, principalmente, en la educación (se registran serios problemas en los países más pobres de absentismo escolar en niñas por estas cuestiones).



Nivel del servicio	Medición del acceso	Necesidades atendidas	Nivel del efecto en la salud
<b>Sin acceso</b> (cantidad recolectada generalmente menor de 5 l/p/d)	Más de 1.000 m ó 30 minutos de tiempo total de recolección	<i>Consumo:</i> no se puede asegurar <i>Higiene:</i> no es posible (a no ser que se practique en la fuente)	Muy alto
<b>Acceso básico</b> (la cantidad promedio no puede superar 20l/p/d)	Entre 100 y 1.000 m ó de 5 a 20 minutos de tiempo total de recolección	<i>Consumo:</i> se debe asegurar <i>Higiene:</i> el lavado de manos y la higiene básica de la alimentación es posible; es difícil garantizar la lavandería y el baño, a no ser que se realicen en la fuente	Alto
<b>Acceso intermedio</b> (cantidad promedio de aproximadamente 50 l/p/d)	Agua abastecida a través de un grifo público (o dentro de 100 m ó 5 minutos del tiempo total de recolección)	<i>Consumo:</i> asegurado <i>Higiene:</i> la higiene básica personal y de los alimentos está asegurada; la lavandería y el baño también deberían estar aseguradas	Bajo
<b>Acceso óptimo</b> (cantidad promedio de 100 l/p/d y más)	Agua abastecida de manera continua a través de varios grifos	<i>Consumo:</i> se atienden todas las necesidades <i>Higiene:</i> todas las necesidades deberían estar cubiertas	Muy bajo

Fig.8- Valoración del nivel de servicio y el efecto en la salud, Howard y Bartram.

En conclusión, para posteriores cálculos de este documento se tomará un criterio de diseño de **80 l/p/d**, cantidad suficiente para suplir las necesidades básicas domésticas, de higiene y que garantice un desarrollo igualitario de los miembros de la comunidad.

## 2- EL MARCO TEÓRICO

Se expondrán en esta sección las bases teóricas necesarias sobre las que se sustentan las tecnologías que más adelante se desarrollarán para cada uno de los diferentes subsistemas que conforman los sistemas de abastecimiento de agua.

### 2.1- HIDRAÚLICA

En primer lugar, es necesario exponer algunos de los conceptos básicos sobre hidráulica [12].

#### 2.1.1 Principio De Conservación De La Energía

El principio de conservación de la energía, explica que el movimiento del agua se produzca de los puntos con mayor energía a los de menor energía. Así, para describir el comportamiento de un fluido ideal a lo largo de un conducto cerrado, es de aplicación la Ecuación de Bernoulli, diferenciándose tres componentes de la energía del fluido: la componente cinética, debida a la velocidad que posee el fluido; la componente de flujo, debido a la presión que posee; y el potencial gravitacional.



$$(1) \quad \frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\rho g} + z = cte$$

No obstante, para la aplicación práctica de esta fórmula, es necesario añadir otra componente en la que se incorporen las pérdidas de energía dinámica debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las contiene (*pérdidas continuas o longitudinales*), así como las pérdida derivadas de las singularidades propias de los sistemas (*pérdidas puntuales*):

$$(2) \quad \frac{P_1}{\rho} + \frac{1}{2}V_1^2 + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{1}{2}V_2^2 + gz_2 + \Delta H = cte$$

El cálculo de estas pérdidas se realiza mediante fórmulas empíricas, con lo que se expondrá a continuación las más frecuentes.

### 2.1.2 Pérdidas De Carga Longitudinales

Pueden calcularse utilizando tres fórmulas [13]:

- Fórmula de Hazen-Williams: desarrollada originalmente para flujo turbulento y que no puede utilizarse para líquidos distintos del agua.
- Fórmula de Darcy-Weisbach: aplicable a todo tipo de líquidos y regímenes.
- Fórmula de Chezy-Manning: utilizada usualmente para canales y tuberías de gran diámetro, donde la turbulencia está muy desarrollada.

Todas las fórmulas emplean la misma ecuación básica para calcular la pérdida de carga:

$$(3) \quad h_L = A \cdot q^B$$

donde  $h_L$  = pérdida de carga (en unid. longitud),  $q$  = caudal (en unid. volumen/tiempo),  $A$  = coeficiente de resistencia, y  $B$  = exponente del caudal.

En la figura 9 se listan las expresiones del coeficiente de resistencia y el valor del exponente del caudal para cada una de las fórmulas de pérdidas indicadas. Cada fórmula utiliza un coeficiente de rugosidad distinto, el cual debe determinarse empíricamente.



Fórmula	Coef. de Resistencia (A)	Expon. Caudal (B)
Hazen-Williams	$10,7 \cdot C^{-1,852} \cdot d^{-4,871} \cdot L$	1,852
Darcy-Weisbach	$0,0827 \cdot f(\epsilon, d, q) \cdot d^{-5} \cdot L$	2
Chezy-Manning	$10,294 \cdot n^2 \cdot d^{-5,33} \cdot L$	2

Fig.9- Expresiones de las fórmulas de pérdidas longitudinales.

Donde C= coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams,  $\epsilon$ = coeficiente de rugosidad de Darcy-Weisbach [m], f= factor de fricción (depende de  $\epsilon$ , d y q), n= coeficiente de rugosidad de Manning, d= diámetro de la tubería [m], q= caudal [m<sup>3</sup>/s].

En la figura 10 se listan los rangos de variación de estos coeficientes de rugosidad para tubería nueva de distintos materiales.

Material	C Hazen-Williams (universal)	$\epsilon$ Darcy-Weisbach (mm)	n Manning (universal)
Fundición	130-140	0,25	0,012-0,015
Hormigón o revest. de hormigón	120-140	0,3-3,0	0,012-0,017
Hierro galvanizado	120	0,15	0,015-0,017
Plástico	140-150	0,0015	0,011-0,015
Acero	140-150	0,03	0,015-0,017
Cerámica	110	0,3	0,013-0,015

Fig.10- Valores de los coeficientes de las fórmulas de pérdidas longitudinales

Al aplicar la fórmula de Darcy-Weisbach, es necesario calcular el factor de fricción, para lo que se pueden emplear distintos métodos dependiendo del **tipo de régimen**.

El régimen hidráulico de un sistema está caracterizado por el número de Reynolds, que viene definido por:

$$(4) \quad Re = \frac{\rho \cdot v_s \cdot D}{\mu}$$

Siendo:  $v_s$  = velocidad característica del fluido

D = diámetro de la sección de paso

$\mu$  = viscosidad cinemática del fluido (si es agua,  $\mu$  (20 °C)= 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s).

$\rho$  = densidad del fluido.



De acuerdo con el valor de  $R_e$  se distinguen tres tipos fundamentales de regímenes [12]:

1- Laminar: si  $R_e < 2.000$ , el factor de fricción depende únicamente del número de Reynolds (en este caso, la pérdida de carga no es afectada por la rugosidad, pero sí por la temperatura)

2- Transición: si  $2.000 < R_e < 10.000$ ,

- *inestable* (unas veces laminar y otras turbulento) con valores  $R_e$  hasta 4000; la pérdida de carga varía con las obstrucciones, incrustaciones... y de una forma totalmente imprevisible.

- *parcialmente turbulento* o turbulento liso, la pérdida de carga depende de la rugosidad pero no de la temperatura.

3- Turbulento: si  $R_e > 10.000$ , el factor de fricción depende tanto del número de Reynolds como de la rugosidad relativa de la tubería, por eso en este caso se representa mediante una familia de curvas, una para cada valor del parámetro  $k/D$ , donde  $k$  es el valor de la rugosidad absoluta, es decir la longitud (habitualmente en milímetros) de la rugosidad directamente medible en la tubería.

Se puede obtener el coeficiente de fricción gráficamente mediante el diagrama de Moody (figura 11), que es la representación en escala doblemente logarítmica del factor de fricción en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa de una tubería.

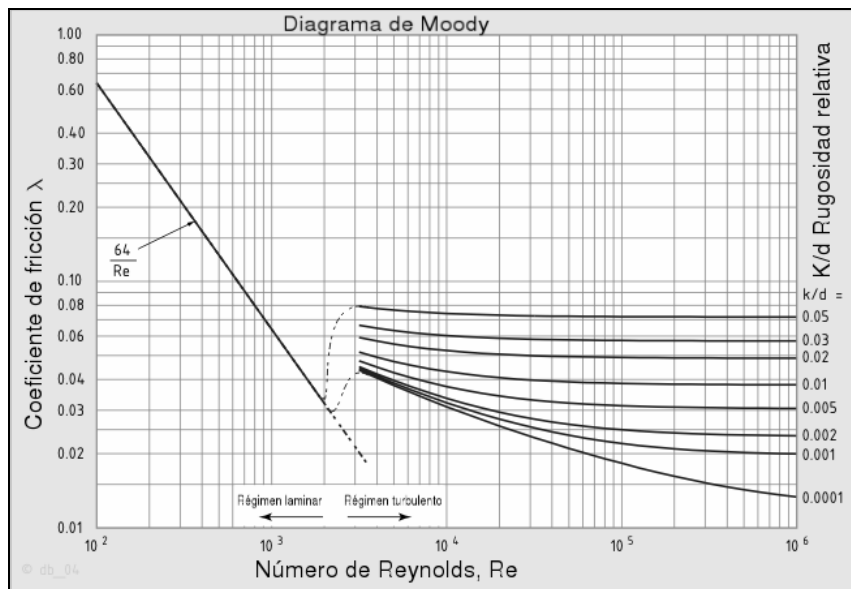


Fig. 11- Diagrama de Moody

### 2.1.3 Pérdidas De Carga Secundarias

Estas pérdidas pueden interpretarse como debidas al incremento de la turbulencia que se produce en los cambios de dirección, codos, accesorios, etc. [13] Suelen



expresarse mediante un coeficiente ( $\lambda$ ) que multiplica la aportación de la velocidad en la ecuación de Bernoulli:

$$(5) \quad h_c = \sum \lambda \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Siendo  $\lambda$  = el coeficiente de pérdidas asociado a cada accesorio hidráulico,  $v$  = velocidad del flujo [m/s],  $g$  = aceleración de la gravedad [9,8 m/s<sup>2</sup>]

En la figura 12, se exponen los valores típicos del coeficiente de pérdidas secundarias asociado a las singularidades más frecuentes de los sistemas hidráulicos.

Singularidad	$\lambda$
Válvula de globo (abierta)	10,0
Válvula de ángulo (abierta)	5,0
Válvula de retención de claveta (abierta)	2,5
Válvula de compuerta (abierta)	0,2
Codo de radio pequeño	0,9
Codo de radio mediano	0,8
Codo de radio grande	0,6
Codo de 45°	0,4
Codo de retorno (180°)	2,2
T estándar (flujo recto)	0,6
T estándar (flujo desviado)	1,8
Entrada brusca (p.e. entrada depósito)	0,5
Salida brusca (p.e. salida depósito)	1,0

Fig. 12- Valores típicos del coeficiente de pérdidas secundarias

## 2.1.4 Parámetros En Tuberías

• **CAUDAL:** El cálculo del caudal de agua viene expresado por la ecuación de continuidad:

$$(6) \quad Q = v \cdot S$$

en la que:  $Q$  = caudal [m<sup>3</sup>/s],  $v$  = velocidad [m/s],  $S$  = sección de la tubería [m<sup>2</sup>]

• **PRESIONES:** la limitación de presión máxima viene fijada por la resistencia de las tuberías (dato normalmente aportado por el fabricante), siendo las que se presentan a continuación los valores de las tuberías utilizadas comúnmente en sistemas de distribución de agua [16].

- Tubería PVC 160 psi: se emplean cuando la presión en el sistema es menor de 112 mca (11,2 kg/cm<sup>2</sup>), es el modelo más barato por lo que procura diseñarse el sistema de manera que el trazado posea la máxima cantidad.





- Tubería 250 psi: estas tuberías se emplean cuando la presión se encuentra en un intervalo entre 112 y 175 mca. Se recomienda su uso cuando las condiciones de presión lo requieran pero no por mejora en la pérdida de carga puesto que el aumento de coste no lo justifica.
- Hierro Galvanizado, HG: se emplea en lugares donde la presión exceda 175 mca, llegando a un máximo de 250 mca

En el caso de redes de distribución, es necesario tener en cuenta la presión estática en cada punto de consumo, pues habitualmente es ésta la mayor presión a la que está sometida. Por otro lado, el valor de presión mínimo se establece para asegurar que el agua llega al punto de consumo en condiciones de presión suficiente:

- *Presión máxima:* debido al fenómeno de golpe de ariete (que conlleva una sobrepresión aproximada de 8 m.c.a./km), se estima que no es bueno que la presión estática en una red de distribución sobrepase los 60 m.c.a.
- *Presión mínima:* normalmente se considera una presión suficiente 5 m.c.a.

• **VELOCIDAD:** la velocidad de circulación del agua a presión dentro de las conducciones se puede determinar utilizando fórmulas empíricas de pérdida de carga donde se relaciona la velocidad, el diámetro interior y la pérdida de carga unitaria de las tuberías. Fijado el caudal en una tubería de sección circular se obtiene:

$$(7) \quad v = \frac{Q}{\pi D^2 / 4} = 0,354 \cdot \frac{Q}{D^2}$$

Donde:  $V$ = velocidad del agua [m/s],  $D$ = Diámetro interno de la conducción [m].

Los valores límites suelen calcularse a partir de la fórmula de Mougny, comúnmente admitidos para valores de 2 a 5 atmósferas:

$$(8) \quad v = 1,5\sqrt{D + 0,05}$$

- *Velocidad máxima:* la velocidad máxima se limita por varios motivos como es el aumento de pérdidas localizadas, el desgaste de las tuberías, y el golpe de ariete. Las recomendaciones más habituales son las siguientes:

Diámetro interior [mm]	Velocidad máxima [m/s]
<150	1,5
<600	2
>600	2,5

Fig.13- Valores de velocidad recomendados

- *Velocidad mínima:* la velocidad mínima se impone por criterios de no deposición de sólidos en el interior de las tuberías, y por criterios de



salubridad. Se recomienda como mínimo aconsejable para todas las tuberías un valor de 0,6 m/s.

- **TRANSPORTE:** El transporte desde el punto de captación hasta el punto de consumo se puede realizar: *a presión*, mediante tuberías (con o sin bombeo); o en *lámina libre*, mediante un canal.

La decisión entre las dos opciones de transporte viene absolutamente condicionada por la topografía de la zona. Por ejemplo, si la captación se produce a una cota superior de la población que consumirá esa agua, es posible realizar un canal que la almacene en un depósito cercano a dicha población. Por el contrario, si la captación se encuentra a cota inferior o el terreno es muy accidentado, resulta imposible realizar un canal y es más barato instalar una bomba y una tubería de impelencia. Este último sistema resulta mucho más frecuente para distribuir agua de consumo por motivos sanitarios evidentes, siendo el transporte mediante un canal más utilizado en las obras de regadío.

## **2.2 SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN o REDES**

En las redes de distribución se intenta encontrar el punto de equilibrio entre nivel de servicio y la inversión necesaria por distintos caminos: tanto instalando elementos que faciliten la gestión posterior (contadores, válvulas de paso), como obviando en algunos casos los diseños más caros, aunque con mejor servicio (selección de redes arborescentes frente a soluciones malladas) [14].

### **2.2.1 Sistemas Por Gravedad**

Se basan en la utilización de la energía gravitatoria para el transporte del agua entre el punto de captación y el punto de consumo. La situación óptima de estos sistemas es aquella en la que la captación se encuentra a una cota superior a la de la comunidad. En caso de contar con un presupuesto reducido y respetarse las condiciones de distancia mínima al punto de consumo de agua (15 min. andando), también puede adoptarse esta solución si la comunidad se encuentra por encima de la captación.

Habitualmente, un sistema por gravedad cuenta con los siguientes elementos:

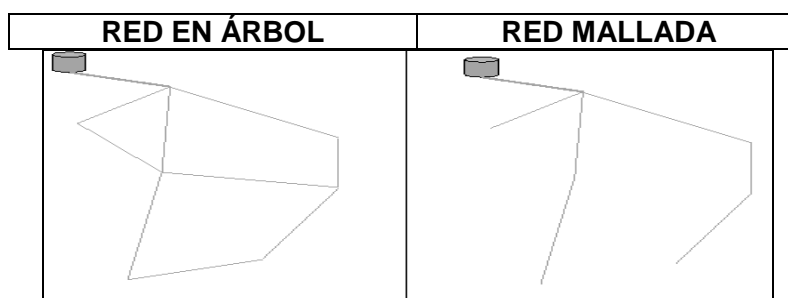
- Captación.
- Tubería.
- Depósito.
- Tanque rompe-presión.
- Tuberías de distribución.
- Puntos de consumo: domiciliar o público.



## 2.2.2 Redes De Distribución A Presión

Las redes de distribución de agua potable se pueden dividir, en función de la morfología de las mismas, en dos grandes tipos que se representan esquemáticamente en la figura 14:

- **Redes arborescentes:** sin ningún circuito cerrado o, dicho de otro modo, donde el agua tan sólo puede circular en un único sentido. La principal ventaja es el alto nivel de servicio, pues una avería no afectará a todo el sistema de abastecimiento, sin embargo representa un alto coste de implantación. Aplicación generalmente urbana.
- **Redes malladas:** con circuitos cerrados o, dicho de otro modo, donde el agua puede realizar como mínimo dos trayectos distintos para servir cada punto de consumo. Por ello, una avería afectará a gran parte de la distribución. Su coste comparativo es menor que las redes en árbol, por lo que es masivamente implantado en comunidades rurales.



*Fig. 14- Representación esquemática de redes*

Dejando aparte el posible bombeo en el sistema, la red de distribución cuenta con los siguientes elementos:

- Depósitos
- Tubería de distribución
- Válvulas
- Puntos de consumo de agua

Para llevar a cabo el diseño de una red de distribución es necesario realizar en primer lugar una abstracción de la red, luego determinar de los caudales de diseño y estimar los diámetros de las tuberías con los que realizar unos primeros cálculos. Los resultados de presión y velocidades habrán de comprobarse si cumplen los requisitos de la red. En de no verificarse este último paso, será necesario calcular de nuevo el sistema con unos diámetros de tubería diferentes.

Si la red es ramificada, los cálculos son inmediatos puesto que se conocen los caudales en cada uno de los tramos (sumando las demandas aguas debajo de dicho tramo) y, por consiguiente, las pérdidas, las presiones, las velocidades, etc. Sin embargo, si la red es mallada, los cálculos son un tanto más complejos, puesto que no se conocen *a priori* los caudales en cada uno de los tramos. La solución más fácil es utilizar un programa de cálculo de tuberías, como por ejemplo EPANET o GESTAR.



## ❖ PASO 1: Abstracción de la red

A efectos de cálculo, la red de abastecimiento se representa mediante un conjunto de puntos o nodos conectados mediante cuerdas o arcos, que representan los tramos de tubería. El arco que une dos nodos representa un único tipo de tubería (sección constante) y únicamente se admite entrada o salida de agua en la red a través de los nodos

## ❖ PASO 2: Caudales de diseño

- **Caudal medio diario:** la fórmula más comúnmente utilizada para el consumo humano es la siguiente:

$$(9) \quad Q_{med} [l/s] = \frac{K_p \cdot D \cdot P}{86400 \frac{s}{dia}}$$

Donde,

- $K_p$  = coeficiente de simultaneidad, depende de la población servida en total (si población < 1000 habitantes,  $K_p=2,6$ )
- $D$  = dotación media diaria [litros/hab. día]
- $P$  = población servida por ese nodo (teniendo en cuenta el crecimiento de dicha población en el periodo de vida útil de la obra; normalmente 20 años) [hab.]

$$(10) \quad P[hab] = P_0 \cdot (1 + TCA)^n$$

siendo  $P_0$  =población actual,  $TCA$ =tasa de crecimiento anual,  $n$ =años

- **Caudal máximo diario:** Se obtiene utilizando los datos registrados en un período de un año. De su relación con respecto al consumo medio diario, se obtiene el coeficiente de consumo máximo diario.

$$(11) \quad Q_{max \text{ diario}} [l/s] = 1.3 \cdot Q_{med}$$

- **Caudal máximo horario:** Se obtiene en base a la experiencia con otros proyectos con el mismo nivel de complejidad en el sistema y de la relación entre el caudal máximo horario una población objetivo similar. De su relación con el caudal máximo diario, se obtiene el coeficiente de consumo máximo horario.

$$(12) \quad Q_{max \text{ horario}} [l/s] = 2 \cdot Q_{med}$$

- **Caudal de impulsión:** en el caso de ser necesario la implementación de un sistema de bombeo

$$(13) \quad Q_{imp} = \frac{Vol_{almac} \cdot 1000}{h_{bombeo} \cdot 3600 \frac{s}{h}}$$



Siendo  $Vol_{almac}$  = el volumen de diseño de almacenamiento [litros],  $h_{bombeo}$  = las horas de diseño en que funcionará el sistema de bombeo

### ❖ PASO 3: Estimación de los diámetros de las tuberías

Para una primera estimación del diámetro de tuberías necesario se puede utilizar la fórmula de aplicación:

$$(14) \quad D = 0,22 \cdot Q^{0,35}$$

Para impulsiones, a título indicativo, puede utilizarse la fórmula de Bresse con el fin de calcular el diámetro de tubería más económico que cubra las necesidades técnicas requeridas:

$$(15) \quad D = k \cdot \sqrt{Q}$$

Siendo D el diámetro de la conducción en metros, Q el caudal a elevar en m<sup>3</sup>/s y k una constante que depende del precio de la energía eléctrica y de los materiales empleados, con valor comprendido entre 0,8 y 1,6

### ❖ PASO 4: Verificación de presiones y velocidades

Una vez estimados los diámetros de las tuberías, se calcula el régimen de velocidades y presiones en la red de distribución, para comprobar que los valores obtenidos están dentro del rango permitido. Si no fuera así, habrá que variar los diámetros de las tuberías y volver a calcular todo el sistema.

## 2.3 SISTEMAS DE EXTRACCIÓN DE AGUA

Si es necesario superar una diferencia de cotas entre el sistema de captación y el sistema de almacenamiento, o entre éste y los puntos de abastecimiento será necesario recurrir a la tecnología de impulsión para llevar el agua hasta su destino.

La extracción del agua en los sistemas de abastecimiento, se realiza mediante bombas manuales o no manuales [14]. Las aplicaciones más habituales son el bombeo de agua desde pozos excavados o perforados (mediante bombas manuales o no manuales), y el bombeo de agua desde manantiales situados debajo de la comunidad desde un tanque de captación o de bombeo, hacia depósitos y un sistema de distribución (sólo mediante bombas no manuales).

Las bombas más sencillas son las **manuales**, que resultan aconsejables para instalaciones de profundidades hasta 70-80 m (según la tipología) y caudales pequeños: adecuadas para pequeños núcleos de gente. Algunas ventajas a destacar son que no necesitan carburante ni electricidad para funcionar siendo adaptables a otras fuentes de energía (animales, viento...), y proporcionando una capacidad de bombeo suficiente y adecuada a las necesidades de la comunidad; tienen un bajo coste en comparación con las no manuales; además, se buscan diseños que sean fáciles de mantener y reparar.



Por otro lado, las **bombas no manuales** se aplican en pozos con una profundidad superior a 70-80 m, sistemas con un manantial ubicado bajo el nivel de la comunidad y un tanque de almacenamiento, si es necesario suministrar mayor caudal que el proporcionado por una bomba manual, o bien en comunidades que se puedan permitir los costes de operación, mantenimiento y amortización.

Así pues, los criterios básicos para determinar qué bomba es la más adecuada en cada situación son:

- Caudal requerido.
- Distancia vertical entre el nivel de bombeo y de distribución.
- Distancia horizontal entre el punto de bombeo y de distribución.
- Variaciones esperadas en los niveles de agua de la fuente.
- Durabilidad de los componentes básicos (incluyendo resistencia a la corrosión).
- Disponibilidad y coste de los repuestos.
- Facilidad de operación y mantenimiento; adaptación a los criterios VLOM.
- Criterios institucionales y comunitarios: contribución de la comunidad en la selección de la tecnología, ubicación de la bomba, selección de la gestión y requisitos económicos para su mantenimiento adecuado.

### 2.3.1 La Energía

Siempre que se piensa en instalar una bomba, es necesario pensar en la energía que con la se va a generar la energía mecánica necesaria para accionarla. Hay distintas alternativas [14], entre las que hay que elegir según la ubicación del proyecto y la disponibilidad de recursos:

- **Humana:** estos son los valores orientativos para poblaciones rurales de países en vías de desarrollo, en instalaciones de bombeo manual. Calculados a partir de datos de peso de referencia, adultos si 20-30 años, niños si < 14 años, condiciones de alta humedad relativa y temperatura, alimentación incompleta y desplazamientos medios a la fuente (menos de 30 minutos).

	Parte del cuerpo empleada	Potencia desarrollable
Hombre	Piernas: pedaleo	100 W
	Brazos: manivela, palanca	70 W
Mujer	Piernas: pedaleo	75 W
	Brazos: manivela, palanca	50 W
Niña/niño	Piernas: pedaleo	65 W
	Brazos: manivela, palanca	40 W

*Fig.15- Relación de la potencia humana desarrollable*

- **Diesel:** los motores diesel tienen la ventaja de poder funcionar en lugares remotos, con independencia del suministro eléctrico, pero será imprescindible garantizar el acceso al abastecimiento de fuel y lubricantes. El consumo de diesel depende de la potencia y el mantenimiento de la bomba (i.e. una bomba de 10 HP suele consumir



alrededor de 1l/hora). El motor se debe conectar mediante un engranaje u otro sistema de transmisión a la bomba.

- **Motores eléctricos:** los motores eléctricos requieren generalmente menos mantenimiento y son más fiables que los diesel. Por lo tanto, es preferible usar este tipo siempre que haya un suministro de electricidad adecuado.

- **Energía eólica:** el uso de la energía eólica para bombear es posible cuando:
  - > Haya vientos con una velocidad mínima de 2.5-3 m/s durante el 60% del tiempo.
  - > El agua pueda ser bombeada de forma continua sin que eso provoque grandes bajadas del nivel freático.
  - > Exista un tanque que garantice el abastecimiento en periodos sin viento, al menos con una capacidad de 3 días
  - > El molino tenga una altura de 4.5 - 6 m, a ser posible.

Normalmente se emplea esta energía con bombas recíprocas de pistón conectando el eje de la bomba con el del molino de viento. En periodos de calma se pueden desconectar ambos artilugios y se bombea manualmente. También están equipados con un sistema que permite desconectar la rueda del molino si los vientos son tan fuertes que pueden deteriorar el sistema, por ejemplo vientos superiores a 13-15 m/s.

- **Energía solar fotovoltaica:** en los sistemas de bombeo fotovoltaico son una opción para zonas remotas con una insolación alta. Pueden bombear agua hasta profundidades de 100-200 m, pero el sistema más eficiente económicamente es aquel que bombea hasta unos 50 m. Aunque la inversión inicial es alta, los costes de operación y mantenimiento son bastante bajos, y habrá que prestar especial atención en cuanto a disponibilidad de repuestos y conocimientos técnicos de la zona.

### 2.3.2 Altura manométrica

La altura manométrica o de impulsión con la que ha de diseñarse la bomba [12], es el resultado de las tres componentes ya explicadas de la ecuación de Bernoulli expuesta en la fórmula (2):

$$(16) \quad H_m = H_{geo} + \frac{P_a - P_e}{\gamma} + \frac{v_a^2 - v_e^2}{2g} + \sum H$$

- Altura geométrica de la impulsión ( $H_{geo}$ ): diferencia de alturas entre los niveles de líquido en aspiración en impulsión, referida al eje horizontal de la salida.
- Diferencia de presiones entre las superficies del líquido, en caso de depósitos cerrados.
- Diferencia de altura dinámica entre la entrada y la salida de la bomba.
- Pérdida total de carga del sistema.

En la práctica se suelen desestimar la diferencia de alturas dinámicas, de modo que si además el depósito es cerrado:

$$(17) \quad H_m = H_{geo} + \frac{P_a - P_e}{\gamma} + \sum H$$



### 2.3.3 Caudal, Rendimiento y Potencia

- **Caudal de impulsión:** su diseño está directamente condicionado tanto por las necesidades a cubrir como por las horas en que el sistema de bombeo va a funcionar, así pues será necesaria una evaluación mediante la relación con el volumen de almacenamiento mediante la expresión:

$$(18) \quad Q_{imp} = \frac{Vol_{almacenam} \cdot 1000}{horas_{bombeo} \cdot h \cdot 3600 \frac{s}{h}}$$

Además, en el caso de sistemas no manuales, la elección será la búsqueda de un compromiso entre el gasto de combustible, y la potencia de la bomba que es necesaria para conseguir el volumen de agua diaria en un tiempo determinado

- **Rendimiento:** las pérdidas de energía que se consideran para calcular el rendimiento de una bomba son de tipo hidráulico (al circular la corriente líquida entre los elementos fijos y móviles de la bomba), volumétrico (debido a fugas de caudal) y mecánicas, de manera que podemos expresar como:

$$(19) \quad \eta_b = \eta_n \cdot \eta_v \cdot \eta_{mec}$$

El valor del rendimiento suele estar comprendido entre el 65% - 85%.

- **Potencia en el eje de la bomba:** es la potencia que requiere la bomba para elevar el líquido a la altura manométrica dada. Se expresa en unidades de C.V. como:

$$(20) \quad P = \frac{\gamma Q H_m}{75 \eta_b}$$

En la práctica se recomienda que el motor no trabaje constantemente a plena carga, por lo que habrá que realizar el diseño en base a una potencia entre 20%-30% superior.

- **Potencia consumida:** es la energía que proporciona el grupo motor (en el caso general, la bomba tiene acoplado un motor eléctrico) para elevar el líquido a la altura adecuada. Expresada en unidades de kW se define como:

$$(21) \quad P_m = 0,00981 \frac{\gamma Q H_m}{\eta_b \eta_{motor}} [kW]$$

### 2.3.4 Curva Característica

La curva característica de una bomba representa la relación entre la altura comunicada al fluido y el caudal de paso, a su velocidad nominal de giro. La altura es la energía comunicada al fluido por unidad de peso, o bien, la diferencia de presiones entre la salida y la entrada de la bomba, y se representa sobre el eje vertical Y, en





metros. El caudal se representa sobre el eje horizontal X, en las unidades de caudal elegidas. Para que la curva característica de una bomba sea válida, la altura debe disminuir al aumentar el caudal. [13]

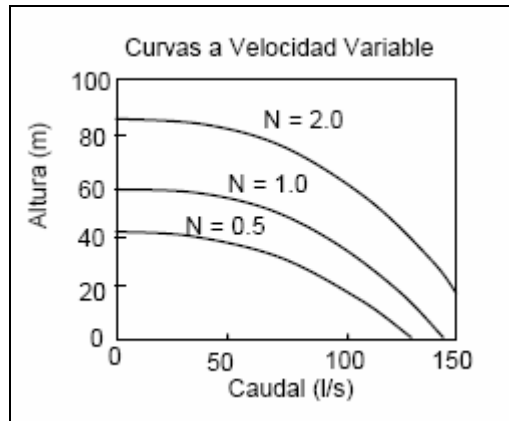


Fig.16- Curva característica de una bomba

Para *bombas de velocidad variable*, la curva de la bomba se modifica a medida que cambia la velocidad, y suele admitirse que las relaciones de caudales  $Q$  y alturas  $H$  entre dos puntos semejantes, para dos velocidades de giro cualesquiera  $N_1$  y  $N_2$ , guardan las relaciones:

$$(22) \quad \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \frac{H_1}{H_2} = \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

Para la elección de la bomba, será necesario conocer el caudal así como las pérdidas de carga totales (lineales y singulares). A partir de estos valores se seleccionará aquella bomba cuya característica esté por encima del punto de funcionamiento de diseño.

### 2.3.5 Parámetros De Bombas Manuales

Los parámetros de las bombas manuales son los mismos que en el caso de las no manuales, pero habrá algunas consideraciones distintas en los cálculos y valores estimados, ya que no son muchas las fuentes de las que obtener valores fiables y los datos de los ensayos no están siempre correctamente definidos. Es por eso, que algunos investigadores dedican actualmente esfuerzos para su adecuada especificación [10].

- **Altura de bombeo:** como ya se ha señalado, es uno de los parámetros fundamentales a tener en cuenta, ya que determinará el equipo más adecuado a elegir para el diseño. La altura de bombeo está relacionada no solo con el nivel estático del agua, sino también por la rebaja producida en la extracción y en cómo la permeabilidad del terreno permite la recarga del pozo. Por otro lado, en el caso especial de las bombas manuales, el factor limitante será el esfuerzo humano o potencia desarrollable referida en la figura 15.



- **Caudal de trabajo:** mediante este parámetro se comprueba la capacidad real de la instalación para cubrir las necesidades de la población en relación a la potencia que es necesaria desarrollar para su obtención. En este punto cabe señalar, que en el caso de aplicación real los estudios señalan que se prioriza la rapidez en el abastecimiento, aunque ello suponga grandes esfuerzos al usuario para obtener el caudal deseado.

$$(23) \quad Q \cdot t_{\text{bombeo}} = \frac{N_f}{n_b} D$$

Siendo  $Q$ =el caudal de trabajo,  $t_{\text{bombeo}}$ = el tiempo total requerido para obtener la cantidad de agua requerida por el encargado del abastecimiento (incluye bombeo y distancia a la fuente),  $N_f$ =número medio de personas en la familia,  $n_b$ = número medio de abastecimiento en la familia, y  $D$ =el volumen de agua necesario por persona y día.

- **Rendimiento de la instalación:** la diferencia entre el caudal ideal para una determinada potencia es sensiblemente superior al real, debido a pérdidas mecánicas, de diseño o de manufactura y montaje del equipo manual en cuestión.

$$(24) \quad \eta_{\text{bombeo}} = \frac{\dot{W}_{\text{útil}}}{\dot{W}_{\text{bombeo}}} = \frac{\rho g H Q}{\dot{W}_{\text{bombeo}}}$$

## 2.4 SISTEMAS DE FILTRADO

Prácticamente todos los sistemas de abastecimiento de agua requieren un tratamiento del agua para que sea potable y alcanzar los valores de calidad recomendados por los organismos internacionales, ya señalados en el apartado dedicado a la Calidad (1.4.2), entre los que cabe destacar: la eliminación de todos los organismos patógenos, así como de los elementos químicos peligrosos (metales pesados, flúor, arsénico, nitratos) y los constituyentes orgánicos; reducir la materia en suspensión que causa turbiedad; y eliminar el hierro y el manganeso que dan color y gusto amargo al agua.

Se distinguen dos tipos de tratamiento de agua para su clarificación y su desinfección, los métodos físicos y los métodos químicos, que se resumen en la tabla de la figura 17 expuesta a continuación.



MÉTODOS FÍSICOS	MÉTODOS FÍSICO-QUÍMICOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ebullición</li> <li>• Exposición al sol (SODIS)</li> <li>• Radiación UV (lámparas)</li> <li>• Sedimentación</li> <li>• Filtración</li> <li>• Aeración</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coagulación floculación sedimentación</li> <li>• Adsorción (carbón, arcilla, etc)</li> <li>• Intercambio iónico</li> <li>• Cloración</li> <li>• Ozonización</li> <li>• Dióxido de cloro</li> <li>• Iodación (metálico, sales o resinas)</li> <li>• Tratamiento ácido base con jugos cítricos, sales básicas, etc.</li> </ul>

*Fig.17- Métodos de filtrado y desinfección*

De estos tratamientos posibles, se exponen a continuación los sistemas más utilizados en países en vías de desarrollo, con pocos recursos económicos [15, 16].

## 2.4.1 Sistemas Físicos

### • Ebullición

Es un método eficaz y accesible, aunque cada vez más restringido por la creciente escasez de combustible. Se debe hervir el agua en un recipiente tapado durante 5-15 minutos, y dejar enfriar pero evitando la aeración posterior. Es importante vaciar el agua hervida directamente al vaso o recipiente para su consumo, evitando introducir ningún recipiente dentro del agua hervida. El consumo tras la ebullición ha de ser dentro de las posteriores 24h.

### • SODIS

La Desinfección Solar del Agua es una solución simple de bajo coste para la desinfección de agua cruda microbiológicamente contaminada, pero sólo efectiva para pequeñas cantidades con baja turbiedad y en ausencia de nitratos, sulfatos o ferroso. Este método combina la acción de la radiación solar UV-A (longitud de onda 320-400 nm) y el aumento de temperatura en el agua para destruir los organismos patógenos. Una correcta desinfección requiere exponer botellas de plástico con el agua contaminada, durante seis horas, a la luz solar; llegando incluso a necesitarse dos días si la nubosidad es mayor del 50%.

Al igual que la ebullición, tiene como inconveniente el no producir ningún residuo que proteja al agua frente a una nueva contaminación, que además pudiera servir para un posterior control y vigilancia de la eficacia del método.



## • Filtración Lenta

El objetivo de la filtración es separar las partículas en suspensión y los microorganismos perjudiciales presentes en el agua destinada al consumo humano. Se distinguen dos tipos de filtros: lentos y rápidos, los que se diferencian fundamentalmente, por la velocidad de filtración

Los filtros lentos son filtros de superficie, es decir, la parte esencial del proceso de filtración se efectúa en la superficie, dentro de la capa fina del filtro en donde se desarrolla una película biológica de característica gelatinosa denominada *zooglea*. Esta película produce dos efectos: una purificación mecánica al retener las partículas de suciedad del agua que la atraviesa y una purificación biológica, ya que los microorganismos que la constituyen consumen para su metabolismo la materia orgánica, bacterias, protozoos, amebas, etc. que retiene.

Para que el filtro lento cumpla su función, debe pasar un cierto tiempo, desde que se lo pone en funcionamiento, durante el cual se forma la *zooglea*, llamado *tiempo de maduración del filtro* que oscila entre 20 y 30 días.

Entre los métodos de filtrado lento, destacan los Filtros Lentos de Arena (FLA) y los Filtros con Velas Cerámicas (FVC). O bien, una combinación de ambos.

Un FLA es tan versátil que puede utilizarse tanto para el tratamiento de agua de una comunidad de varios cientos de habitantes, hasta el más simple nivel familiar. Sin embargo, es una tecnología diseñada para flujo continuo, y aunque ha sido utilizada a nivel casero, donde el flujo es intermitente no hay garantías de correcto funcionamiento a nivel casero por la falta de estudios técnicos al respecto. Por ello, en la práctica empiezan a combinarse con los FVC.

En el apartado tecnológico de filtrado que se presenta más adelante, se compararán resultados de operación de estas alternativas.

## 2.4.2 Sistemas Químicos

Dentro de los sistemas de desinfección químicos, se ha reconocido ampliamente que el sistema de cloración es uno de los avances más significativos en la protección de la salud pública, de manera que junto con la filtración, ha logrado casi eliminar las enfermedades transmitidas por el agua (como el cólera, la tifoidea, la disentería y la hepatitis A) dentro de los países en desarrollo.

Los factores más importantes a tener en cuenta para una correcta desinfección mediante un elemento químico son: la naturaleza y el número de organismos, la temperatura del agua a desinfectar (cuanto más alta, más rápida desinfección), el tiempo de contacto, el pH del agua, y una mezcla correcta en toda el agua.

Así pues, el factor  $C \cdot T$  representará la combinación de la dosis de desinfectante y el tiempo que el agua ha de estar expuesta a una mínima cantidad de desinfectante residual:  $C$ =concentración final de desinfectante (mg/l),  $T$ = tiempo mínimo de exposición (min).



- **Cloración**

La mayor ventaja de la desinfección por cloro son las propiedades residuales duraderas que previenen un nuevo crecimiento microbiano, de manera que se proporciona una protección continua durante todo el proceso de distribución.

La exposición al cloro causa alteraciones físicas, químicas y bioquímicas en la pared de la célula de manera que destruye la barrera protectora de la misma, concluyendo en la destrucción del microorganismo en cuestión.

La dosis recomendada en el agua de consumo humano es de 0,2 a 0,5 mg Cl<sub>2</sub>/litro, siendo el tiempo mínimo para lograr destrucción de bacterias, virus y protozoos de 30 minutos, con una concentración de cloro residual de 0,5 mg Cl<sub>2</sub>/litro.

### **3- EL MARCO TECNOLÓGICO**

**E**n este apartado se expone en primer lugar una secuencia de estudio para la elección de un sistema de abastecimiento de agua, y a continuación se profundiza en las tecnologías (apropiadas o no) que se utilizan para el diseño de cada uno de los subsistemas en que se compone dicho sistema, como son el:

- Subsistema de CAPTACIÓN
- Subsistema de EXTRACCIÓN y DISTRIBUCIÓN
- Subsistema de ALMACENAMIENTO
- Subsistema de FILTRADO Y TRATAMIENTO

#### **3.1 OPCIONES TECNOLÓGICAS EN ABASTECIMIENTO DE AGUA**

Se definen a continuación las soluciones tecnológicas para abastecimiento de agua en función de una serie de parámetros como son el rendimiento y la ubicación de las fuentes, el tamaño de la población y sus formas de asentamiento (es decir, concentrada o dispersa), así como por otro tipo de factores como son los de tipo técnico, económico-institucional, socio-cultural y ambiental. Con estas condiciones se determinan dos grandes familias de la opción tecnológica: las opciones "convencionales" y las opciones "no convencionales" [18,19].

A continuación, se señalan las características más básicas de cada uno de estos parámetros así como de los sistemas, para ofrecer una visión global de las opciones técnicas posibles.



## • **FUENTE**

Se clasifican en función de su procedencia y facilidad de tratamiento como:

- ❖ **Superficial:** compuesta por lagos, ríos, canales, etc.
- ❖ **Subterránea:** conformada por aguas subálveas y profundas.
- ❖ **Pluvial:** representada por las aguas de lluvia.

## • **NIVEL DE SERVICIO**

El nivel de servicio se refiere a la proporción de la población que obtiene agua para consumo de distintos niveles de sistemas de abastecimiento. Desde este punto de vista, se distinguen tres niveles:

- ❖ **Público:** atiende a un sector de la comunidad
- ❖ **Familiar:** atiende a una familia
- ❖ **Multifamiliar:** atiende a un grupo de familias.

El nivel de servicio debe ser acorde a las necesidades de las familias, pero se ve influenciado por la dotación de la fuente, la capacidad de pago de los usuarios y el coste de la inversión del proyecto.

## • **SISTEMA**

Se define el sistema para abastecimiento de agua, como un conjunto de obras civiles para satisfacer la demanda de manera completa o parcial, y diseñado a partir de diferentes criterios, distinguiéndose dos tipos de sistemas:

### **a. *Sistemas Convencionales***

Son aquellos diseñados a partir de criterios tradicionalmente aceptados y claramente establecidos, que permiten brindar un servicio cómodo y completo de abastecimiento de agua con diferentes niveles de servicio, ya sea a nivel de vivienda mediante conexiones domiciliarias o a nivel comunitario con piletas públicas.

Tradicionalmente se les identifica como:

- **Sistemas por gravedad:** si aprovechan la fuerza gravitacional para conducir el agua hasta los usuarios. Las fuentes han de estar en cotas elevadas y suelen ser manantiales y aguas superficiales, es decir ríos, lagos, etc.
- **Sistemas por bombeo:** si se requiere de energía mecánica, eléctrica o manual, para impulsar el agua hacia puntos de distribución a los usuarios. En este caso, se aprovechan tanto las aguas subterráneas como las aguas superficiales que están en un nivel inferior a las poblaciones a beneficiar y requieren equipos mecánicos o eléctricos que “suban” el agua.



Estos sistemas de abastecimiento de agua se caracterizan por contar con *redes de distribución* del tipo abierto o cerrado, y están conformados por uno o más de los siguientes componentes:

- Captación (para aguas superficiales o subterráneas)
- Línea de conducción o impulsión
- Estación elevadora de agua
- Planta de tratamiento
- Almacenamiento
- Línea de aducción o impulsión
- Red de distribución (tipo abierto o cerrado)
- Conexiones domiciliarias y/o piletas públicas

### **b. Sistemas No Convencionales**

Son aquellos que se diseñan a partir de criterios simples que permiten brindar un servicio (completo o parcial) de abastecimiento de agua por medio de soluciones individuales o multifamiliares.

Estos sistemas aprovechan pequeñas fuentes de agua que pueden ser distribuidas por redes de tuberías y con conexiones domiciliarias básica, o a través de instalaciones públicas que normalmente demandan el transporte, almacenamiento y desinfección del agua en el nivel intradomiciliario.

Dentro de estas opciones tecnológicas, se distinguen algunas como:

- Captación de aguas de lluvia
- Protección de vertientes
- Pozos-bombas manuales
- Filtros de mesa

Las diferentes posibilidades entre el tipo de sistema, fuentes de agua y nivel de servicio se muestran en la figura 18 situada a continuación.

TIPO	TECNOLOGÍA	FUENTE	NIVEL DE SERVICIO
CONVENCIONAL	Gravedad	Agua Subterránea	Público
		Agua Superficial	
	Bombeo	Agua Subterránea	
		Agua Superficial	
NO CONVENCIONAL	Protección de vertientes	Agua Subterránea	Multifamiliar
	Bombas manuales	Agua Subterránea	Familiar
			Multifamiliar
	Aguas de lluvia	Aguas de lluvia	Familiar

Fig.18- Clasificación de sistemas de abastecimiento de agua



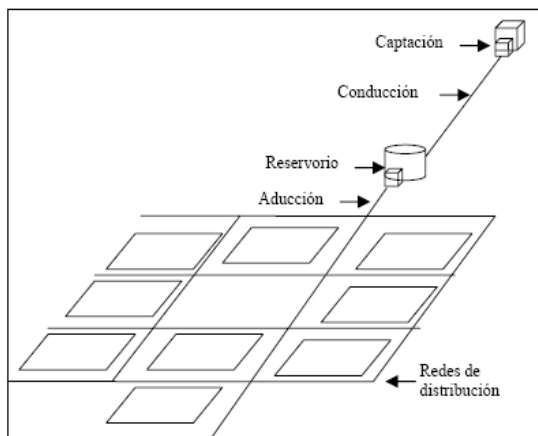
Se realiza a continuación una breve revisión de las características tecnológicas de los distintos sistemas para abastecimiento de agua disponibles en el ámbito de la cooperación al desarrollo, para una población eminentemente rural. Se realiza además una comparativa entre las tecnologías en la que se destacarán algunas de sus ventajas e inconvenientes a la hora de su uso, implantación y/o gestión.

### 3.1.1 Sistemas Convencionales

Las principales características de los distintos sistemas convencionales, son las siguientes:

#### a. Sistema por gravedad sin tratamiento

Son sistemas que aprovechan la fuerza gravitacional para conducir el agua hasta los usuarios y cuyas fuentes son aguas subterráneas o subálveas. Las primeras afloran a la superficie del terreno como manantiales y su captación puede ser de ladera o de fondo; las segundas son captadas por medio de galerías filtrantes por drenes sub-superficiales.



En estos sistemas de abastecimiento la desinfección puede no ser muy exigente debido a que el agua ha sido filtrada en los estratos porosos del subsuelo.

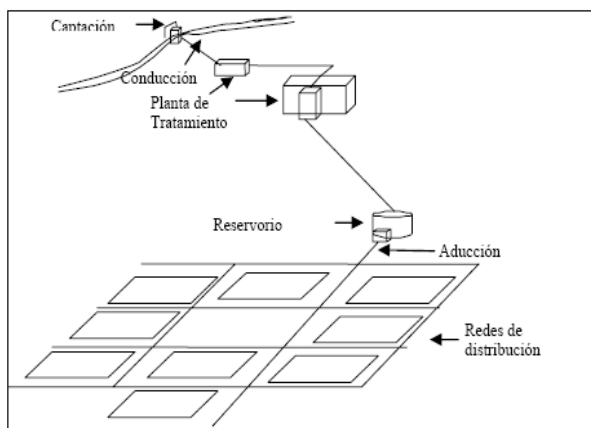
VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mínima operación y mantenimiento</li> <li>• Bajo coste de inversión</li> <li>• Bajas tarifas por el servicio</li> <li>• Sistema de alta confiabilidad</li> <li>• No requiere de tratamiento de clarificación</li> <li>• Bajo o nulo contenido de coliformes y puede ser usado sin desinfección continua.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Por su origen el agua puede contener un alto contenido de sales disueltas.</li> </ul>





## b. Sistema por gravedad con tratamiento

Las fuentes de agua de estos sistemas son aguas superficiales que discurren por canales, acequias, ríos, etc. que requieren ser clarificadas y desinfectadas.



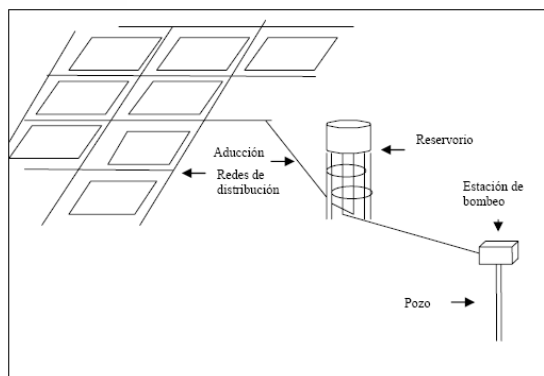
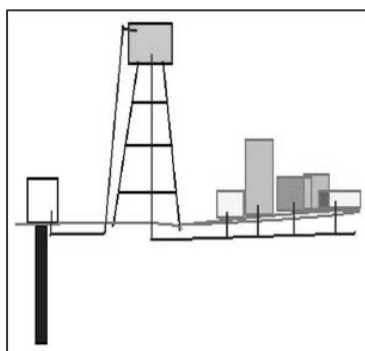
Estos tipos de sistemas están equipados con plantas de tratamiento diseñadas en función de la calidad física, química y bacteriológica del agua cruda.

Estos tipos son de uso común en el área urbana y no deben ser descartados para los pueblos indígenas o el medio rural, siempre y cuando existan o se creen las condiciones y capacidades locales necesarias.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remueve la turbiedad del agua cruda.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere de personal capacitado para operar y mantener la planta de tratamiento.</li> <li>• Puede demandar del uso de productos químicos para el proceso de clarificación del agua.</li> <li>• Requiere desinfección obligatoria.</li> <li>• Mayor coste de O &amp; M que los sistemas GST.</li> <li>• Tarifas elevadas.</li> </ul>

## c. Sistema por bombeo sin tratamiento

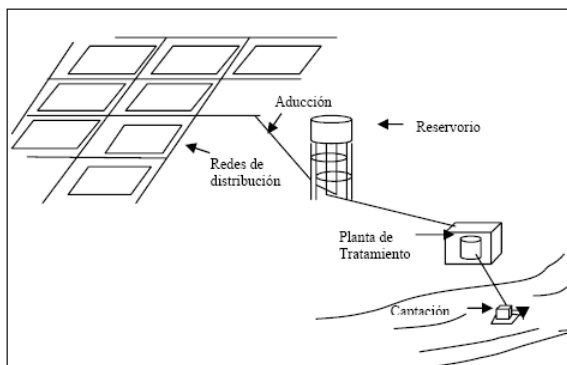
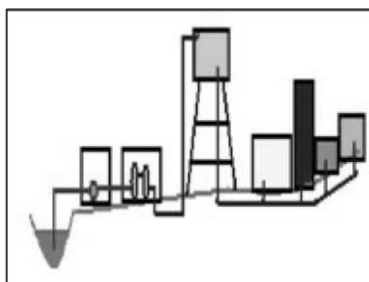
Son sistemas cuyas fuentes de agua subterráneas o subálveas, afloran o se encuentran por debajo de la cota mínima de abastecimiento de la localidad a servir y demandan de algún tipo de equipo mecánico, electromecánico para impulsar el agua hasta el punto de distribución de los usuarios.



VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desinfección poco exigente</li> <li>• Nivel de servicio por conexiones domiciliarias y/o piletas públicas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere de personal especializado para operar y mantener sistemas de bombeo</li> <li>• Requiere elevada inversión para su implementación</li> <li>• Las tarifas del servicio son elevadas, afectadas por los costes de operación de los equipos de impulsión de agua, por lo que muchas veces el servicio es restringido a algunas horas del día.</li> </ul>

#### **d. Sistema por bombeo con tratamiento**

Son sistemas de abastecimiento que se surten de fuentes de aguas superficiales y cuentan con plantas de clarificación ubicadas por debajo del nivel de las localidades a ser atendidas, por lo que requieren de estaciones elevadoras para impulsar el agua hasta el nivel donde pueda atender a la comunidad.





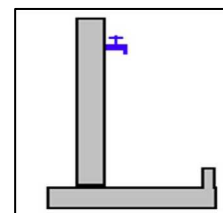
VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>Menor riesgo a contraer enfermedades relacionadas con el agua.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Requiere de personal altamente capacitado para operar y mantener la planta de tratamiento y el sistema de bombeo.</li> <li>Requiere de mayores costes de inversión, de operación y mantenimiento que los sistemas de bombeo sin tratamiento. Muchas veces el servicio es restringido a algunas horas del día para evitar la elevación de la tarifa.</li> <li>Las tarifas del servicio son las más altas en comparación con los diferentes sistemas de abastecimiento de agua.</li> <li>Sistema complejo y de poca confiabilidad.</li> </ul>

### 3.1.2 Sistemas No Convencionales

Las opciones tecnológicas no convencionales, están compuestas por los siguientes tipos de sistemas de abastecimiento de agua:

#### a. Piletas públicas

Abastecimiento de agua por medio de un sistema primario de distribución que es viable cuando el rendimiento de la fuente es superior a las necesidades de abastecimiento de la población.



VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>Bajos costes de implementación</li> <li>Producción de bajos volúmenes de aguas residuales.</li> <li>Una conexión atiende a varios usuarios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Agua expuesta a contaminación por acarreo, almacenamiento y manipulación.</li> <li>Necesidad de almacenamiento intra-domiciliario.</li> </ul>

#### b. Captación de aguas de lluvia

Corresponde a soluciones del tipo unifamiliar o multifamiliar en donde las aguas de lluvia se captan en los techos de las viviendas y se acumulan en tanques de



almacenamiento. Para el consumo directo, el agua debe ser desinfectada y, si las circunstancias lo requieren, debe ser previamente filtrada.

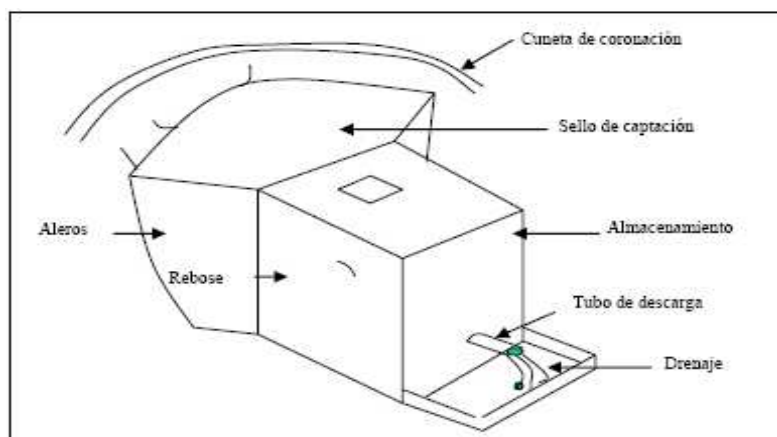
VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>Buena calidad física y química del agua</li> <li>Apropiado para comunidades dispersas</li> <li>Se pueden utilizar recursos locales para su implementación</li> <li>Fácil de mantener por el usuario.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Puede tener un alto coste inicial</li> <li>La cantidad de agua depende del área de recolección y de la intensidad de las lluvias.</li> <li>Puede presentarse crecimiento de bacterias por el largo tiempo de almacenamiento.</li> </ul>

### c. Protección de vertiente

Son soluciones de abastecimiento de agua realizadas a partir de la captación segura de pequeñas fuentes de agua subterránea ubicadas en las proximidades de la vivienda o grupo de viviendas.

Esta solución se compone de captación y surtidor, pudiendo este último encontrarse en el lugar donde se ubica la fuente, o ser conducida a los usuarios mediante tuberías de pequeño diámetro.

El nivel de servicio puede ser del tipo familiar o multifamiliar, el cual depende de la capacidad de la fuente y del número de usuarios.



VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>Fácil de construir y mantener</li> <li>No requiere gran inversión</li> <li>Se utilizan recursos humanos y materiales locales</li> <li>Desinfección poco exigente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Puede haber racionamiento del servicio por el bajo rendimiento de la fuente</li> <li>Puede generar conformismo</li> </ul>



#### d. Pozos - bombas manuales

Soluciones compuestas por pozos perforados o excavados debidamente protegidos, pudiendo ser del tipo familiar o multifamiliar. Dependiendo del tipo de protección del pozo y de la presencia de puntos de contaminación, el agua debe ser desinfectada antes de ser destinada al consumo humano directo.



VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recomendable para poblaciones dispersas con potencial de aguas subterráneas.</li> <li>• No requiere gran inversión.</li> <li>• Fácil operación y mantenimiento.</li> <li>• Se utilizan recursos humanos y materiales locales. Ninguna.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede haber dificultad para conseguir repuestos de las bombas manuales. Para ello será necesario VLOM.</li> </ul>

#### e. Filtros de mesa:

Opción que trata pequeñas cantidades de agua superficial proveniente de ríos, acequias, etc., con turbiedades menores a 100 UNT y baja carga bacteriológica, sin embargo, es recomendable que antes del consumo el agua sea desinfectada.

Normalmente, los filtros de mesa están compuestos por un recipiente que contiene el medio o los dispositivos filtrantes y un tanque de almacenamiento del agua filtrada.

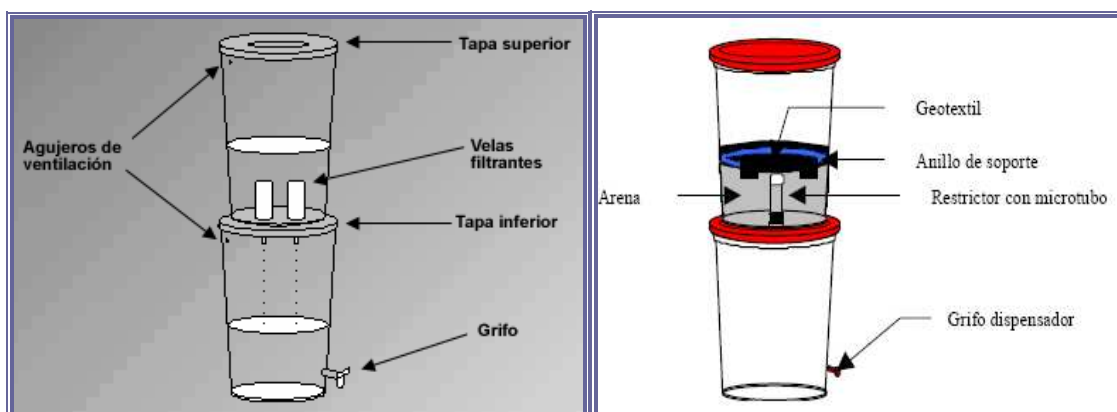


Fig.19- Filtros de mesa: velas filtrantes y modelo CEPIS-PAHO de velas y arena.



VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"><li>• Mejora la calidad física y bacteriológica del agua.</li><li>• Apropiado para comunidades alejadas y dispersas.</li><li>• Fácil de mantener por el usuario.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Trata pequeñas cantidades de agua que se destinan principalmente a la bebida e higiene bucal.</li></ul>

A continuación, se analizan los factores que inciden en la selección apropiada de una solución tecnológica para el abastecimiento de agua, con el objetivo de establecer una secuencia de aplicación que permita, en última estancia, establecer la opción tecnológica y el nivel de servicio requerido.

### **3.2 SELECCIÓN DE OPCIONES TECNOLÓGICAS**

Son muchos los proyectos de agua que han tenido dificultades de sostenibilidad y han dejado de operar al poco tiempo de haberse implementado o bien la calidad del servicio (incluida la calidad del agua) ha estado por debajo de lo esperado. Las causas de la falta de sostenibilidad de los sistemas de abastecimiento de agua son múltiples, siendo una de ellas la tecnología, que muchas veces excede la capacidad de operación, mantenimiento y administración de la comunidad beneficiada. Cuando este caso se da, se observa un lento deterioro de las instalaciones que finaliza en el abandono de las mismas en lapsos de tiempo muy por debajo de su horizonte de diseño o de la vida útil de sus componentes.

Por ello será muy importante tener claros cuáles son los factores que inciden en la selección de una tecnología para que ésta sea sostenible. Se recomienda un análisis secuencial de factores técnicos, económicos, sociales y culturales, como clave para identificar la opción tecnológica y el nivel de servicio más idóneo para una localidad determinada.

#### **1) Factores económicos**

- **Condición económica:** es un factor muy importante que permite limitar la opción tecnológica y el nivel de servicio, en base a los niveles de ingresos económicos de las poblaciones a ser atendidas. Pueden ser bajos, medios o altos según estos ingresos correspondan, respectivamente, a la mitad, el total, o el doble o más del valor de la canasta familiar básica.

#### **2) Factores sociales**

- **Categoría de la población:** este estudio está centrado en el caso de las poblaciones indígenas, con perfil rural, bajos recursos económicos y dificultades de acceso a los servicios básicos.
- **Características de la población:** vinculando la distribución espacial de la población en la manera en que se expone a continuación:



- ❖ Concentrada: corresponde a las localidades con viviendas agrupadas formando calles y vías que determinan un crecimiento con tendencia a un núcleo urbano; y
- ❖ Dispersa: son localidades con viviendas distanciadas unas de otras y sin un orden de desarrollo preestablecido, que aún no han sido atendidas en su desarrollo urbano de servicios básicos.

### 3) Factores técnicos

- **Dotación:** factor vinculado con el nivel de servicio, en el que se consideran como valores referenciales los siguientes rangos, que podrán variarse en función de las condiciones culturales, económicas, climáticas, etc. del lugar de intervención.  
:
  - ❖ Menor a 20 l/hab/día: abastecimiento individual o multifamiliar a partir de pequeñas fuentes de agua y destinadas a atender las necesidades básicas;
  - ❖ De 20 a 40 l/hab/día: suministro comunitario a través de fuentes públicas; y
  - ❖ Mayor de 40 l/hab/día: provisión del servicio público de abastecimiento de agua mediante fuentes públicas o conexiones domiciliarias.
- **Fuente:** como ya se ha señalado anteriormente, las fuentes de abastecimiento de agua se clasifican en función de su procedencia y facilidad de tratamiento como superficial (lagos, ríos, canales...); subterránea (aguas subálveas y profundas, que pueden ser captadas por medio de manantiales de ladera o de fondo, galerías filtrantes y pozos perforados y excavados); y pluvial (aguas de lluvia).
- **Rendimiento de la fuente:** determina la cantidad y disponibilidad de agua a ser destinada al abastecimiento de agua, y permite definir el nivel de servicio al que puede acceder la comunidad a ser beneficiada.
- **Ubicación de la fuente:** la fuente de agua puede estar ubicada por encima o por debajo de la localidad y permite definir si el abastecimiento es por gravedad o por bombeo.
- **Tipo de Servicio:** es el resultado o la definición de la opción tecnológica y nivel de servicio que mejor se adecua a las necesidades de la comunidad y que responden a las características físicas, económicas y sociales de la misma. Al efecto, se han considerado tres niveles básicos: familiar, multifamiliar y comunal.
  - ❖ Familiar: permite la atención de una a cinco familias.
  - ❖ Multifamiliar: facilita la atención a grupos que van de cinco a 25 familias.
  - ❖ Comunal: permite la atención de grandes grupos de familia mayores a 25 familias.

En la figura 20 se presenta un resumen de las opciones tecnológicas expuestas dentro del algoritmo que se propone para la selección que mejor se adapte a las condiciones socioeconómicas y culturales de la población bajo evaluación.



Sistemas no convencionales		Sistemas convencionales (redes de distribución con conexiones domiciliarias)		
<b>N1:</b>	Agua de lluvia	<i>Abastecimiento por gravedad</i>	<b>C1:</b>	Manantiales y galerías filtrantes (sin tratamiento)
<b>N2:</b>	Filtro de mesa		<b>C2:</b>	Aguas superficiales (con tratamiento)
<b>N3:</b>	Protección de manantiales	<i>Abastecimiento por bombeo</i> (fuentes situadas por debajo de las localidades a ser abastecidas)	<b>C3:</b>	Pozos, manantiales y galerías filtrantes (sin tratamiento)
<b>N4:</b>	Pozos perforados o excavados (bombas manuales)		<b>C4:</b>	Aguas superficiales (con tratamiento)

*Fig.20- Matriz de opciones tecnológicas del algoritmo*

Respecto a los niveles de servicio que ofrecen las distintas opciones tecnológicas son:

- **Nivel 1:** las familias acceden al servicio de agua a partir del transporte del agua desde el punto de abastecimiento hasta la vivienda para su uso; normalmente, está compuesto por la captación de pequeñas fuentes, conducción y suministro a través de surtidores (*Familiar y multifamiliar*).
- **Nivel 2:** las familias acceden al servicio de agua por medio de conexiones enlazadas al servicio público de abastecimiento, pudiendo ser las conexiones a nivel domiciliario o pilones públicos. (*Público*).



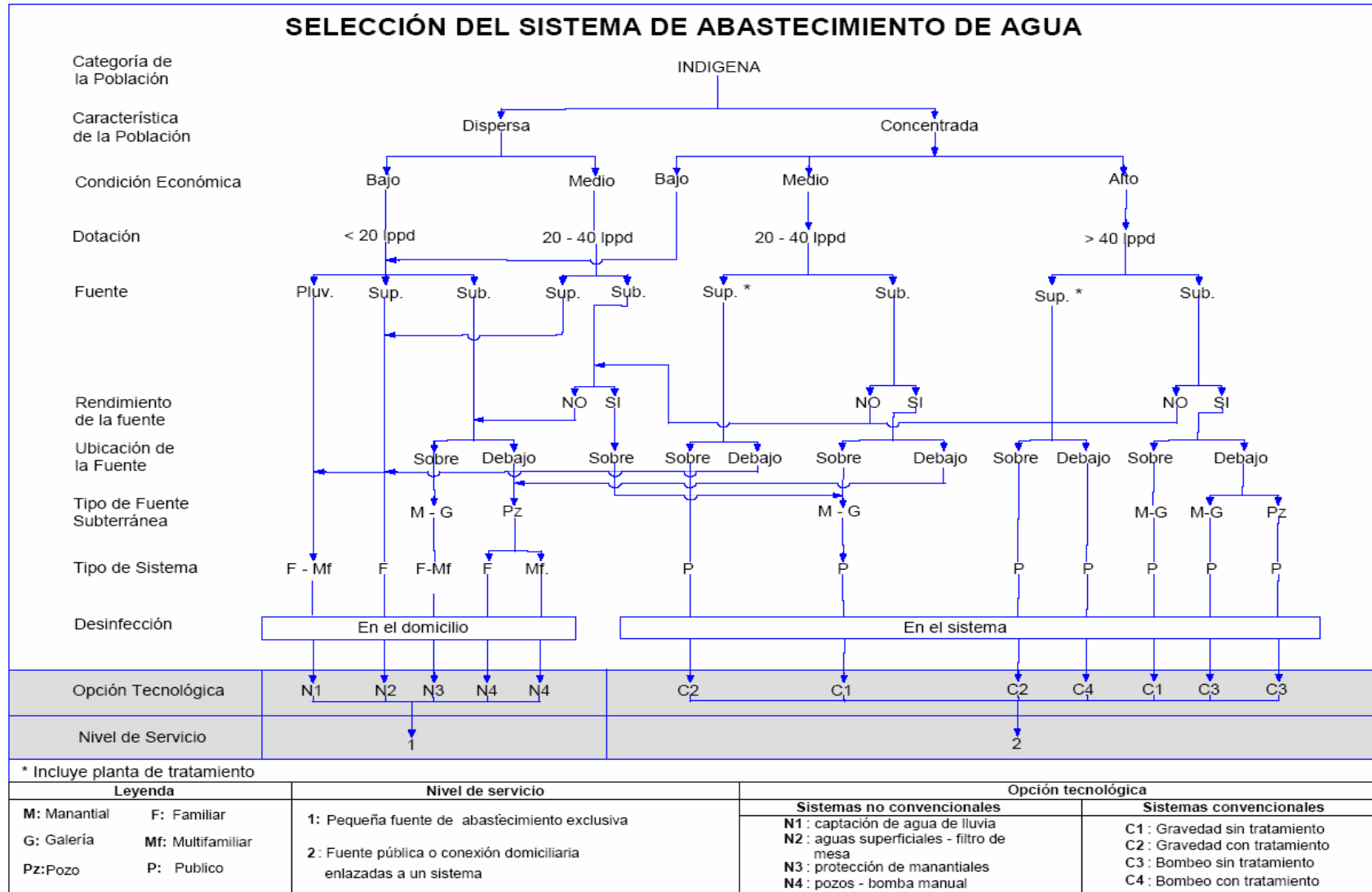


Fig.21- Algoritmo de selección de tecnología propuesto



### **3.3 SUBSISTEMAS DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA**

Después de esta propuesta de análisis secuencial como clave para identificar la opción tecnológica más idónea para una población determinada, se exponen a continuación las tecnologías de los diversos subsistemas para un adecuado abastecimiento de agua.

#### **3.3.1 CAPTACIÓN DE AGUA**

Como ya se ha comentado, el agua necesaria para atender la demanda de la población puede provenir de aguas subterráneas, de aguas superficiales o de la lluvia. En este apartado se exponen las cuestiones tecnológicas concretas referidas a la captación de agua subterránea (mediante la construcción de un pozo) y la captación pluvial (aprovechando cubiertas de edificios).

##### **3.3.1.1 Captación Mediante Pozo**

Los pozos empleados en la captación de aguas se clasifican principalmente según su magnitud o profundidad. Así se distinguen dos tipos de pozos:

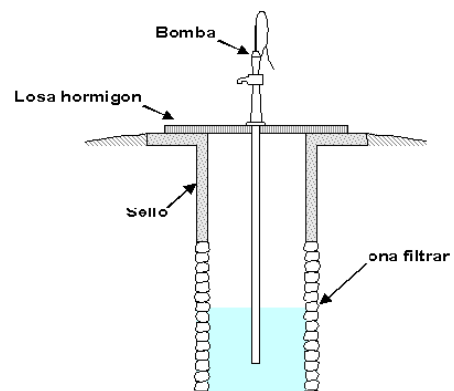
###### **a) Pozos superficiales**

Consisten simplemente en la excavación de un agujero en el terreno hasta sobrepasar el nivel del agua. Habitualmente, no se requieren equipos o aptitudes especiales para su construcción, sin embargo, si se encuentra estrato duro, o se requiere un gran drenaje, se podrá precisar máquinas y aptitudes apropiadas [21].

Gracias a su diámetro ancho y volumen grande, los pozos excavados permiten a la vez extraer y almacenar agua subterránea. El almacenamiento resulta muy importante, sobre todo cuando los usuarios sacan agua con caudales máximos durante algunas horas por la mañana y la tarde, o avería en el sistema de bombeo.

En general los pozos excavados constan de los siguientes elementos:

- Revestimiento de mampostería, hormigón o ladrillos con orificios libres bajo el nivel freático para dejar entrar el agua.
- Sellado de arcilla o de hormigón en la parte superior para prevenir la contaminación.
- Filtro de grava para mejorar el caudal de agua entrante.
- Losa de hormigón superior con un registro, un orificio para el bombeo de manera que el





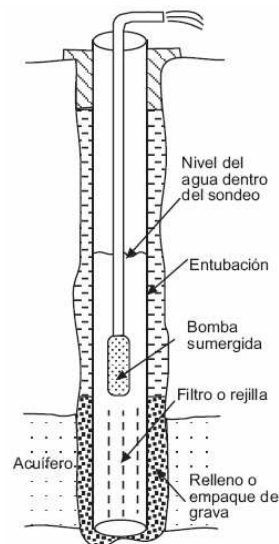
agua sea drenada correctamente.

## b) Pozos profundos

Los pozos perforados permiten alcanzar aguas subterráneas más profundas. Se diferencian de los pozos excavados por el pequeño diámetro, que oscila generalmente entre 0,10 m y 0,25 m para el entubado, lo que no posibilita que una persona entre para limpiarlo.

Se construyen esencialmente con maquinaria pesada, aunque a veces se pueden ejecutar con equipos manuales.

Existen dos métodos principales para la perforación de pozos: los mecanizados y los manuales, pero todos se basan en dos modalidades: percusión y rotación; o bien, una combinación de ambas modalidades.



- Perforación por PERCUSIÓN: es el método más sencillo, se basa en la caída libre de un peso (*trépano*) en sucesión de golpes rítmicos dados contra el fondo del pozo. Es lenta pero efectiva para profundidades moderadas (<150m) y en ciertas rocas.
- Perforación por ROTACIÓN: estos equipos se caracterizan porque trabajan girando o rotando la broca (*trícono*). El sentido de la rotación debe ser el mismo usado para la unión o enrosque de las piezas que constituyen la sarta de perforación. Todas las brocas, trépanos o tríconos, son diseñados para cortar, triturar o voltear las distintas formaciones que pueden encontrarse a su paso. Estas herramientas son diseñadas para cada tipo de formación o terreno. El trabajo de perforación se realiza mediante la ayuda del lodo de perforación, el cual desempeña las siguientes funciones: evita el calentamiento de las herramientas durante la operación, transporta en suspensión el material resultante de la perforación hacia la superficie del terreno y finalmente forma una película protectora en las paredes del pozo para que de esta manera impedir el desmoronamiento o el derrumbe del pozo. La principal ventaja de este método es que es más rápido que el método a percusión.



### 3.3.1.2 Captación Pluvial (Por SCAPT)

La captación está conformada por el techo de la edificación, el mismo que debe tener la superficie y pendiente adecuadas para que facilite el escurrimiento del agua de lluvia hacia el sistema de recolección. En el cálculo se considera solamente la proyección horizontal del techo [22, 23 y 24].

Los materiales empleados en la construcción de techos para la captación de agua de lluvia son la plancha metálica ondulada, tejas de arcilla, paja, etc.



- La *plancha metálica* es liviana, fácil de instalar y necesita pocos cuidados, pero puede resultar costosa y difícil de encontrar en algunos lugares donde se intente proyectar este sistema.
- Las *tejas de arcilla* tienen buena superficie y suelen ser más baratas, pero son pesadas, y para instalarlas se necesita de una buena estructura, además que para su elaboración se necesita de una buena fuente de arcilla y combustible para su cocción.
- La *paja*, por ser de origen vegetal, tiene la desventaja que libera lignina y tanino, lo que le da un color amarillento al agua que no tiene mayor impacto en la salud de los consumidores siempre que la intensidad sea baja, pero que causa rechazo para su ingesta por lo que, a veces, es destinada para otros fines diferentes al de consumo, como riego, bebida de ganado, lavado de ropa, higiene personal, limpieza de servicios sanitarios, etc.

El agua recolectada por el techo será conducida directamente hasta el tanque de almacenamiento mediante unas canaletas adosadas en los bordes más bajos del techo. El material de las canaletas debe ser liviano, resistente al agua y fácil de unir entre sí, a fin de reducir las fugas de agua, por lo que los materiales más comunes son bambú, madera, metal o PVC.

- Las canaletas de *metal* son las que más duran y menos mantenimiento necesita, sin embargo son costosas.
- Las canaletas confeccionadas a base de *bambú y madera* son fáciles de construir pero se deterioran rápidamente.
- Las canaletas de *PVC* son más fáciles de obtener, durables y no son muy costosas.

En cualquier caso, el ancho oscilará entre 75 mm - 150 mm para asegurar velocidades de 1m/s, y se fijarán a los bordes más bajos del techo con alambre, madera y clavos de manera que el techo se prolongue hacia el interior de la canaleta como mínimo en un 20% del ancho de la misma. La distancia entre la parte superior de la canaleta y la parte más baja del techo deberá ser la menor posible para evitar la pérdida de agua.

Por otra parte, es muy importante que el material utilizado en la unión de los tramos de la canaleta no contamine el agua con compuestos orgánicos o inorgánicos. Las uniones serán herméticas y lo más lisas posibles para evitar el represamiento del agua. En el caso de que la canaleta llegue a captar materiales indeseables, tales como hojas, excremento de aves, etc., el sistema debe tener *mallas* que retengan estos objetos para evitar que obturen la tubería montante o un *dispositivo de descarga* de primeras aguas.

### 3.3.2 EXTRACCIÓN DE AGUA

Una vez conducida el agua captada, será necesario su extracción para llevarla bien al punto de consumo, bien a otra zona de almacenamiento. Así pues, se presentan varias opciones tecnológicas para cumplir este cometido.



Desde el punto de vista hidráulico, las bombas se pueden clasificar en función de la forma en que varíe la energía entre la entrada y la salida como *bombas gravimétricas* (si aportan energía potencial), *bombas volumétricas* o de desplazamiento positivo (si el elemento impulsor aporta energía al líquido en forma de presión) y *turbobombas* (si el elemento impulsor es un rodete que transforma mediante su rotación, la energía mecánica en energía de presión y energía cinética) [12]

No obstante, se realizará una distinción basada en el tipo de energía primaria consumida: humana o combustible, de manera que se presentan grandes grupos:

### 3.3.2.1 Bombas Manuales

Dentro de las alternativas tecnológicas de las bombas manuales, en el que la energía consumida en el proceso de extracción es la potencia humana desarrollable, podemos distinguir tres grandes grupos que se enumeran en la figura 22, donde además se señalan los modelos más utilizados y sus lugares de desarrollo inicial:

Tipo de Bomba		Altura de bombeo	Modelos en uso	Observaciones
De Pistón	De Succión	< 7m	-AID suction (EEUU) -Bandung (Indonesia) -Inhalas suction (India) -Jetmatic suction (Filipinas) -Lucky (Tailandia)	Hasta 50 usuarios/día, la más implantada, alto caudal, sencillo mantenimiento
	De Acción Directa	10-20m	-"Tara" (Bangladesh) -"Nira AF85" (Finlandia) -"Malda"	Retira agua en elevación y descenso; modelo "Nira" de diseño no público
	De Pozo Profundo	< 45m	-Afridev (Kenia) -Indian Mark II (UNICEF)	Alto coste, alto caudal, uso en pozos de más de 20m.
De Diafragma		< 45m	-Vergnet -Abi-ASM	Menores esfuerzos, mejor sellado, alto coste, no VLOM.
De Desplazamiento		< 10m	-Cubo-cuerda	El más antiguo, sin durabilidad.
		< 60m	-Mecate	Bajo coste y mantenimiento, fiabilidad.

Fig.22- Tipos de Bombas Manuales

Al observar los datos de los parámetros de los diferentes tipos comentados, que se extraen del estudio sobre bombas manuales realizado por Unai Tomillo [10] se concluye que las bombas de pistón requieren un menor esfuerzo pero se obtienen caudales menores, especialmente para alturas de bombeo bajas, manteniendo unos rendimientos similares; sin embargo, en este rango de poca altura de bombeo, las que



más caudal extraen son las de mecate. Se presenta una tabla resumen de los valores registrados para estas conclusiones en la figura 23:

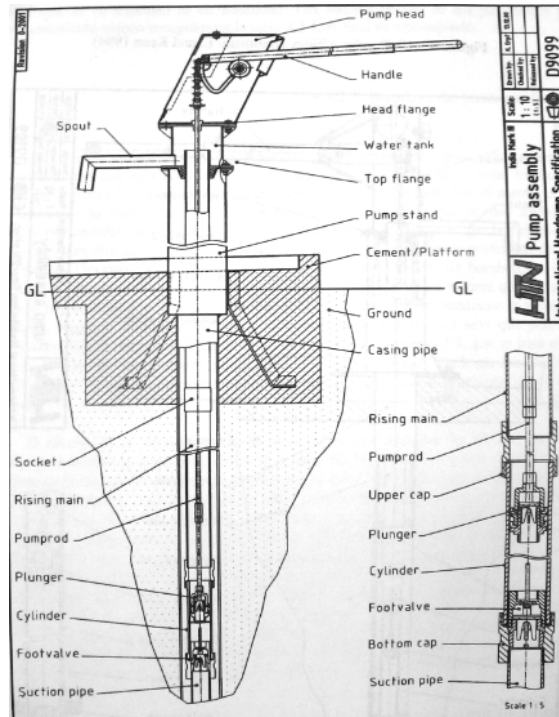
	<b>Altura de bombeo (m)</b>	<b>Potencia ergonómica (W)</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Caudal típico (l/min)</b>
De Pistón (palanca)	7	50	0,45	19,66
	12	55	0,50	14,02
	20	60	0,55	10,09
	30	65	0,60	7,95
	40	70	0,65	6,96
	50	75	0,70	6,42
De Diafragma (pedal)	7	75	0,45	29,49
	12	80	0,50	20,39
	20	85	0,55	14,30
	30	90	0,60	11,00
	40	95	0,65	9,44
	50	100	0,70	8,56
De Cubo-Cuerda	10	75	-	15,00
De Mecate	5	75	-	70,00
	10			41,00
	20			20,00
	30			14,00
	40			10,00
	60			7,00

*Fig.23- Parámetros de bombeo para distintas Bombas Manuales*

A continuación se exponen las características de algunos modelos muy utilizados, entre los que señalaremos el modelo Indian Mark, el modelo Maya, el Afridev y la bomba de Mecate [23].

#### **a) Indian Mark**

El modelo Indian Mark II incluye parámetros en su diseño como son: facilidad de mantenimiento, instalación y uso; eficiencia mecánica y volumétrica; frecuencia de averías y mantenimiento necesario; aceptabilidad del usuario; y resistencia a la corrosión. Consiste en un cilindro de acero con dos tapones, y un sistema de operación con pistón, separador, válvula superior y válvula de control de manera que cuando se mueve la manivela hacia arriba, el pistón empieza a bajar por dentro del cilindro, la válvula de control se cierra y empuja el agua hacia arriba, abriendo la válvula superior.



*Fig.24- Esquema bomba manual Indian Mark III*

El modelo **Indian Mark III** es una versión mejorada y VLOM, que permite obtener un mayor caudal (pues la tubería tiene mayor diámetro) y que el ensamblaje del cilindro permite desmontar el pistón con mayor facilidad pues no hay que desmontar toda la bomba, permitiendo con ello un mejor mantenimiento.

El modelo **Indian Mark V** de denominación VLOM incorpora los últimos desarrollos de la tecnología de las bombas de mano y está protegida contra la corrosión gracias a los materiales que la componen.

#### **Aspectos funcionales:**

- Adecuadas para profundidades de 15 m a 50 m (II, III).
- Facilidad de instalación y mantenimiento barato para la comunidad.
- Adecuación a requisitos VLOM (III, V).
- El diseño del cilindro con la parte superior abierta permite la extracción del pistón y de la válvula de pie sin remover el cilindro y el conducto de elevación (III, V).
- Coste aproximado de 750 \$.

#### **b) Maya (bomba manual de succión)**

Similar a la bomba Indian Mark, que se clasifica como una bomba de succión con acción recíproca de doble efecto. Su principal ventaja es que no necesita cebarse para su funcionamiento, por lo que no existe riesgo de contaminación al ponerla en marcha. Son adecuadas para alturas de bombeo máximas de 14 m.



Fig.25-

### c) Afridev

La bomba manual tipo Afridev surgió de experimentos de terreno en África del Este y también tiene la denominación VLOM. Son adecuadas para profundidades de 10 m a 45 m. El diseño del cilindro con la parte superior abierta permite la extracción del pistón y de la válvula de pie sin desmontar ni el cilindro ni la tubería. Y a 20 m tienen un caudal de 0,4 l/s, que baja a 0,3 l/s en pozos más profundos (50 golpes/min.). Su coste es similar al modelo Indian Mark (750 \$).

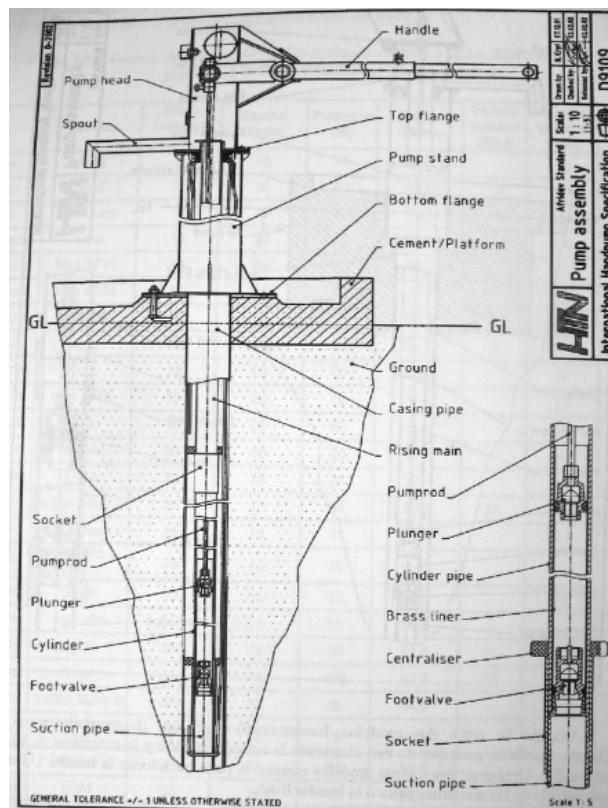


Fig.26- Esquema bomba manual Afridev

### d) Bomba de Mecate

A principios de los 80, un técnico belga desarrolló una variante del diseño milenario de la bomba de mecate para su uso en irrigación. La composición básica actual de este tipo de bomba puede observarse en las siguientes figuras complementarias:



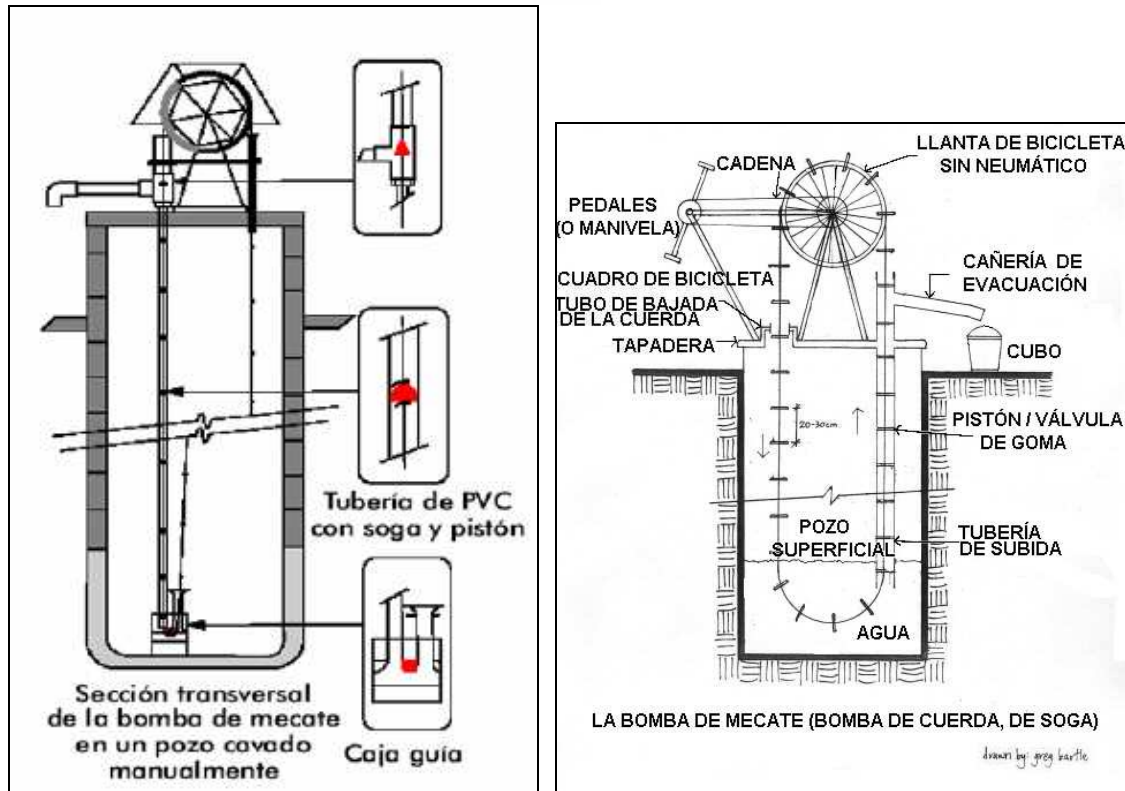
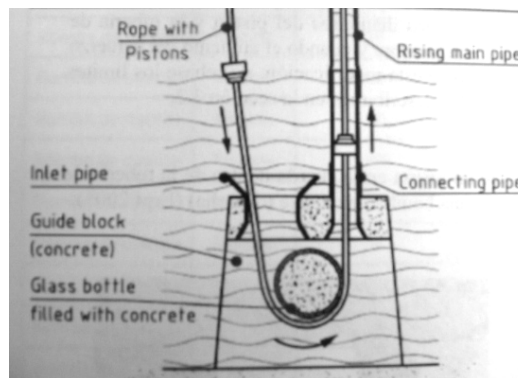
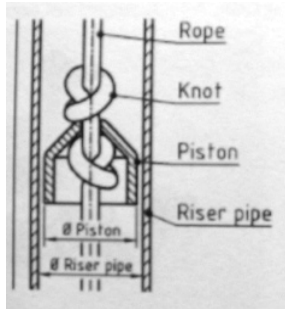


Fig.27- Diagrama general de una bomba de manual de Mecate

**Funcionamiento:** la rotación de la *manivela* estira la cuerda y los pistones. Cada pistón, fijado con nudos, lleva el agua desde el fondo del pozo y la vacía en el conducto de salida situado en la parte superior. Los *pistones* son la parte más sensible de la bomba porque deben adaptarse muy bien a la tubería para prevenir las pérdidas de agua. Deberán tener preferiblemente forma de cono y ser de polietileno, pero en algunos casos pueden ser de caucho. La *rueda* se fabrica con neumáticos de camión o bicicleta. La *caja guía* situada al fondo del pozo conduce la cuerda en la tubería de bombeo. La *tubería de bombeo* varía según la profundidad del pozo siendo su diámetro menor cuanto más profundo es el pozo.





*Fig.28- Detalles de la guía inferior y de los pistones.*

**Aspectos destacables:**

- Adaptada de forma excelente a VLDM.
- Mantenimiento frecuente, reparable por los usuarios con el material disponible.
- Contaminación potencial al descuidar los usuarios habitualmente dejarlo cubierto.
- Coste aproximado: 70 y 150 US\$ (más barata que Afridev e Indian Mark)
- Coste de mantenimiento aproximado: 10 \$ al año.
- Instalación muy barata y rápida (dos personas pueden montarla en dos horas)



*Fig.29- Bomba de mecate (Nicaragua)*

### **3.3.2.2 Bombas No Manuales**

En el caso de que la bomba sea accionada a través de un generador, que consuma combustible para generar la electricidad necesaria para mover el rotor de la bomba, se tienen los siguientes tipos de bombas.



1. **Bombas de rotor helicoidal:** consisten en un rotor helicoidal de rosca simple colocado dentro de un manguito helicoidal de rosca doble. Las superficies helicoidales empujan el agua hacia arriba creando un flujo mixto y uniforme. Son adecuadas para alturas de elevación reducidas (5-25m) y para caudales de varios miles de m<sup>3</sup>/h. Son robustas, por lo que requieren poco mantenimiento en general, pero su coste económico es elevado.

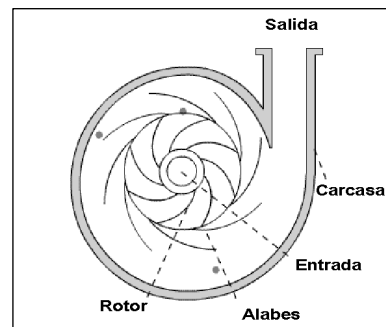


*Fig.30- Fotografía de bomba helicoidal*

2. **Bombas centrífugas:** los principales componentes de una bomba centrífuga son el tambor y la carcasa. El tambor es un disco con álabes que giran del centro hacia el exterior. Éste, al girar a una velocidad suficientemente alta, produce el flujo ascendente gracias a la fuerza centrífuga. El agua es lanzada hacia el conducto de salida creando una succión que fuerza la entrada de más agua.

Su aplicación es de amplio rango de elevaciones, siendo medias los valores de 20-60m, además si la altura de elevación necesaria es mayor que la capacidad de una bomba, se pueden conectar varias en serie (bomba multi-etapa).

La eficiencia de bombeo tiende a mejorar cuando aumenta la velocidad de rotación, no obstante una velocidad de rotación alta puede implicar un mantenimiento más frecuente.



*Fig.31- Esquema de una bomba centrífuga*

### **3.3.3 ALMACENAMIENTO**

El almacenamiento es la obra destinada a almacenar el volumen de agua necesaria para el consumo diario de las personas beneficiadas con el sistema de abastecimiento de agua, en especial durante períodos de sequía.

La unidad de almacenamiento podrá ser enterrada, apoyada o elevada, y al efecto debe cumplir con las especificaciones técnicas siguientes: en primer lugar, el interior del tanque deberá ser impermeable para evitar el contacto del agua con el exterior y garantizar así la calidad de la misma, así como para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración.

Con el fin de realizar las tareas de limpieza y mantenimiento, y para impedir el ingreso de polvo, insectos y de la luz solar, el tanque estará dotado de tapa superior así como de una escotilla de tapa sanitaria lo suficientemente grande tal que permita el ingreso de una persona (0,60 x 0,60 m). Es necesario asegurar unas condiciones oscuras de almacenamiento a fin de prevenir la formación de algas y reproducción de mosquitos si



el agua va a destinarse a consumo humano. En este sentido, se adjunta en los Anexos unas pautas para la correcta desinfección del almacenamiento.

Por otro lado, habrán de diseñarse dispositivos para el retiro de agua y el drenaje: el grifo de drenaje para tanques elevados o apoyados, se situará a 0,10m por encima del fondo y el rebose se situará a 0,10m por debajo del techo. En el caso de tanques enterrados, deberán ser dotados de bombas de mano.

Tanto la entrada como el rebose, deben contar con mallas para evitar el ingreso de insectos y animales, y se apartarán de la pared del tanque de almacenamiento no menos de 1m para descargar en una canaleta para su disposición final.

Respecto a la zona donde se ubique el grifo para la extracción de agua, habrá de construirse una losa de 0,50 x 0,50 m y borde de 0,10m de alto. Esta losa debe contar con drenaje para eliminar el agua que pueda almacenar durante la extracción de agua. Si el tanque de almacenamiento es apoyado, también deberá tener alrededor de su base una losa de protección contra la infiltración de 0,20m de ancho.

Los materiales más comunes que se utilizan en el medio rural son:

- *Metálicos*: tienen problemas de corrosión a los 3-5 años si no se limpian al final de cada estación. Se deben traer de fuera, por lo que no hay contribución de la comunidad.
- *Plásticos*: su coste es elevado, pero resuelven el problema de la corrosión. Es necesario asegurar que sean adecuados a la zona de intervención. Se deben traer de fuera, por lo que no hay contribución de la comunidad.
- *Mampostería*: muy habitual en tanques de dimensiones medias (25-75 m<sup>3</sup>).
- *Hormigón*: muy habitual en tanques de dimensiones elevadas (50-150 m<sup>3</sup>).
- *Ferrocemento*: se emplean cada vez más por ser muy económicos. Suelen medir entre 1 y 5 m<sup>3</sup>, pero pueden llegar a alcanzar los 100 m<sup>3</sup>. La construcción y posteriores trabajos de reparación son muy sencillos. Aunque el cemento pueda provenir del exterior, la mano de obra es local y beneficia a la economía del pueblo.

### **3.3.3.1 Almacenamiento Pluvial**

Los datos de partida para el diseño del volumen de almacenamiento, son principalmente las características de la estación seca, los datos pluviométricos, el tipo de captación y material de superficie/tejado usado, la demanda de agua, el número de personas beneficiadas, la disponibilidad de otras fuentes de agua, la distancia, cantidad y calidad del agua, así como la disponibilidad de la cuenca de captación.

El método más sencillo para calcular el volumen de agua necesario durante la estación seca, determina la cantidad de agua que es capaz de recolectarse por metro cuadrado de superficie de techo y a partir de ella se determina a) el área de techo necesaria y la capacidad del tanque de almacenamiento, o b) el volumen de agua y la capacidad del tanque de almacenamiento para una determinada área de techo. Para ello, basta con definir:



- Número de personas beneficiarias o población objetiva: población esperada en el horizonte de diseño (n años), expresado en la ecuación 15.
- Caudal de diseño: es el denominado *caudal medio diario*, expresado en la ecuación 14.
- Coeficiente de escorrentía o dispersión: modela la pérdida en la cantidad de agua recogida debido a la velocidad de caída de las gotas de lluvia sobre las superficies de los tejados. Consecuentemente, su valor varía según los materiales de la superficie del tejado como queda reflejado en la siguiente tabla:

Material del tejado	Valor Coef. De Dispersión
Chapa metálica	0,9
Teja de cemento	0,7
Teja de arcilla	0,4
Madera	0,8 – 0,9
Paja	0,6 – 0,7

Fig.32- Coeficiente de escorrentía

- Coeficiente de seguridad: para cualquiera de los métodos de cálculo que se elija, es recomendable aumentar el volumen del tanque 10%-20% con el objetivo de asegurar en todo momento el abastecimiento de agua especialmente si ésta se destino a consumo humano.

Si se dispone de datos pluviométricos mensuales, el método más adecuado para determinar el volumen necesario del tanque de almacenamiento consiste en realizar un estudio mensual de aportaciones y demandas [4]. Los pasos a seguir para el diseño del sistema de almacenamiento de agua de lluvia son:

- 1- Determinación de la precipitación promedio mensual: a partir de los datos promedio mensuales de precipitación de los últimos años se obtiene el valor promedio mensual del total de años evaluados.

$$(25) \quad Pp_i = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} p_i}{n}$$

Siendo  $n$ = número de años evaluados,  $p_i$ = valor de precipitación mensual del mes "i" [mm],  $Pp_i$ = precipitación promedio mensual del mes "i" de todos los años evaluados [mm]

- 2- Determinación de la demanda: a partir de la dotación asumida por persona se calcula la cantidad de agua que se necesita para atender las necesidades de la familia o familias a ser beneficiadas en cada uno de los meses.

$$(26) \quad D_i = \frac{Nu \times Nd \times Dot}{1000}$$



Siendo  $Nu$ = número de usuarios que se benefician del sistema,  $Nd$ = número de días del mes analizado,  $Dot$ = dotación (litros/persona.día),  $D$ = demanda mensual ( $m^3$ ).

- 3-** Determinación del volumen del tanque de abastecimiento: teniendo en cuenta los promedios mensuales de precipitaciones de todos los años evaluados, el material del techo y el coeficiente de escorrentía, se procede a determinar la cantidad de agua captada para diferentes áreas de techo y por mes.

$$(27) \quad A_i = \frac{Pp_i \times Ce \times Ac}{1000}$$

Siendo  $Pp_i$ = precipitación promedio mensual (litros/  $m^2$ ),  $Ce$ = coeficiente de escorrentía,  $Ac$ = área de captación ( $m^2$ ),  $A_i$  = Abastecimiento correspondiente al mes "i" ( $m^3$ )

- 4-** Teniendo como base los valores obtenidos en la determinación de la demanda mensual de agua y oferta mensual de agua de lluvia, se procede a calcular el acumulado de cada uno de ellos mes a mes encabezado por el mes de mayor precipitación u oferta de agua.

$A_{ai}$  : volumen acumulado al mes "i"

$$(28) \quad Aa_i = Aa_{(i-1)} + \frac{Pp_i \times C_e \times A_c}{1000}$$

$D_{ai}$  : demanda acumulada al mes "i"

$$(29) \quad Da_i = Da_{(i-1)} + Nu \times Nd_i \times Dd_i$$

$V_i$  : volumen del tanque de almacenamiento necesario para el mes "i".

$$(30) \quad V_i(m^3) = A_i(m^3) - D_i(m^3)$$

Siendo  $A_i$  = volumen de agua que se captó en el mes "i",  $D_i$  = volumen de agua demandada por los usuarios para el mes "i".

- 5-** A continuación se procede a calcular la diferencia de los valores acumulados de cada uno de los meses de la oferta y la demanda respectivamente.

Con este procedimiento se obtienen los siguientes resultados y conclusiones:

- El área mínima de techo corresponde al análisis que proporciona una diferencia acumulativa próxima a cero (0)
- El volumen de almacenamiento corresponde a la mayor diferencia acumulativa.
- Las áreas de techo que conduzcan a diferencias acumulativas negativas en alguno de los meses del año se descartan porque el área supuesta no es capaz de captar la cantidad de agua demandada por los interesados.
- Las áreas de techo mayor al mínimo darán mayor seguridad para el abastecimiento de los usuarios.



### 3.3.3.2 Almacenamiento Comunitario

En el caso de que el tanque de almacenamiento sea para uso comunitario, se diseñará su capacidad en función del volumen diario y teniendo en cuenta unos factores de compensación y reserva del volumen de almacenamiento [23]:

$$(31) \quad Vol_{dia} [l] = 0.33 \cdot \frac{Q_{med} \cdot 86400}{1000}$$

$$(32) \quad \%Vol_{almacena} = \frac{f_c}{1 - \frac{f_r}{100}}$$

$$(33) \quad Vol_{almacenam} = \frac{Vol_{dia} \cdot \%Vol_{almacena}}{100} l$$

Siendo  $f_c$  = % de volumen de compensación,  $f_r$  = % de volumen de reserva.

Al valor calculado se añadirá un coeficiente de seguridad en el dimensionamiento que se recomienda esté entorno al 10% del cálculo inicial.

### 3.3.3 FILTRADO DE AGUA

Dentro de las tecnologías posibles para la desinfección del agua y su adecuación al consumo, resulta imprescindible asegurar la eliminación de organismos patógenos e infecciosos, de manera que se proponen dos alternativas tecnológicas: una química, como es la cloración; y otra física, como es el uso de filtros lentos, bien de arena, bien de velas cerámicas, o bien una combinación de ambas [16, 28 y 29].

Alternativas Tecnológicas	Agente desinfectante o de Tratamiento	Variantes de las tecnologías identificadas
Ebullición	Hervir (15min)	-
Cloración	Cloro	-
Filtros de mesa	Velas cerámicas	Velas sin prefiltro de arena
		Velas con prefiltro de arena
	Arena	Arena sola

Fig.33- Tecnologías de desinfección y filtración

Para su elección será necesario conocer tanto la carga bacteriológica del agua a consumir, como la turbiedad que habrá de ser removida para adecuarla al consumo, de manera que para la elección de la alternativa adecuada se propone la siguiente



matriz (que habrá de ser completada con otros factores como los económicos y los sociales, para una elección final):

CALIDAD DEL AGUA		TECNOLOGÍA
BACTERIOLÓGICA	TURBIEDAD	
Baja carga	Cristalina (<5)	Ebullición
Baja carga o Alta carga		Cloración
Baja carga	Ligeramente turbia (<25)	Microfiltración*
	Altamente turbia (>25)	Filtro de arena + microfiltración
Alta carga	Altamente turbia (>25)	Filtro de arena + electrólisis

\*Filtros de arena con velas cerámicas

Fig.34- Matriz para la selección de la tecnología de filtración

### 3.3.3.1 Filtros De Arena

Como se ha comentado, los filtros lentos de arena (FLA) son muy empleados por ser una tecnología sencilla, eficiente y económica, con fácil operación aunque con unas necesidades de mantenimiento específicas que aseguren los procesos biológicos de destrucción de patógenos en la *zoog/lea*. De hecho, su efectividad depende directamente de esta película biológica situada en los primeros milímetros. Por ello, los FLA se diseñan con un prefiltro, que retiene las partículas gruesas y evita la disturbación de la arena al añadir el agua que se va a filtrar, y además se instala un reductor de caudal, que permite controlar el nivel dentro del balde con el agua cruda.

Ejemplo de FLA (modelo propuesto por CEPIS/OPS):

- Arena seleccionada de 0,3 mm de tamaño efectivo y 2,0 de coeficiente de uniformidad
- Reductor de caudal confeccionado con un microtubo de 1 mm de diámetro interior y 20 cm de longitud que controla la tasa de filtración, consiguiendo una filtración mínima de  $0,68 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \times \text{día})$  equivalente a 1,7 litros de agua por hora o un volumen de 40 litros por día de agua filtrada, siendo el volumen de agua en el bidón de ocho litros.
- A fin de evitar el ingreso de arena al interior del microtubo que pudiera perjudicar su funcionamiento, se coloca una almohadilla de geotextil en un extremo, que actúa como drenaje.
- La instalación del reductor de caudal se realiza cubriendo totalmente con arena uno de los extremos que lleva la almohadilla; mientras que, el otro extremo sale al exterior a través de un orificio hecho en el balde a la altura del nivel superior de la capa de arena.
- Para no perturbar la superficie de arena por el llenado de agua de la unidad de filtración, se coloca una pieza de geotextil sujeta con un anillo hecho de manguera plástica y relleno con arena para darle mayor peso y evitar que flote.





*Fig.35- Esquema de FLA, modelo CEPIS/OPS*

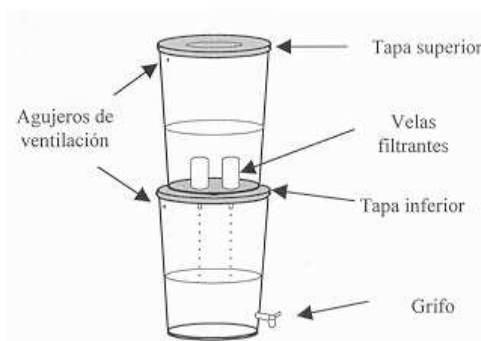
### **3.3.3.2 Filtros De Velas Cerámicas**

Los filtros de velas cerámicas (FVC) consiguen una tasa de filtración más alta, para un mismo volumen de agua. Las velas están elaboradas con una cerámica de buena calidad (poros de 0,2 micrones), que pueden estar impregnadas con plata para matar los elementos patógenos. En algunos sistemas, el filtro de vela es precedido por un filtro de cuerda de polipropileno para eliminar las partículas en suspensión o empacado con carbono activado para eliminar los productos químicos, orgánicos y los sabores.

Las velas filtrantes se limpian suavemente bajo un chorro de agua o dentro de un recipiente, asegurándose que no entre agua al interior de la vela para evitar que se contamine, sin utilizar ni jabón ni detergente alguno en su limpieza. Normalmente la sustitución de las velas no es necesaria hasta 6 ó 12 meses. En la aplicación práctica, se observa que las velas filtrantes sufren una rápida obturación y desgaste por los frecuentes lavados.

Ejemplo de FVC (modelo propuesto por CEPIS/OPS):

- Compuesto por dos baldes de polietileno de 20 litros cada uno, colocados uno sobre la tapa del otro, de manera que el balde superior contenga las dos velas filtrantes.
- En la base del balde superior y la tapa del balde inferior se perforan dos agujeros coincidentes donde se insertan las espigas de las velas filtrantes.
- Entre la base del balde y la tapa inferior se colocan anillos de plástico coincidentes con las espigas de las velas a fin de darle mayor rigidez a la unión cuando se aseguren los elementos filtrantes y de este modo, evitar la fuga de agua.
- Este conjunto se coloca sobre un segundo balde al cual se le perfora en la parte superior un agujero de ventilación de 3mm de diámetro para facilitar la filtración del agua.



*Fig.36- Esquema de FVC, modelo CEPIS/OPS*

También es posible el uso conjunto de filtro de arena y filtro de velas, asegurando que las velas quedan correctamente tapadas con al menos 5cm de arena por encima de ellas.

Este conjunto, mejora aún más la tasa de filtración que el sistema de FVC y además alarga la vida útil de las velas cerámicas. Para un diseño con baldes de 20 litros de capacidad, con arena de  $\phi_{\text{interno}} = 0,84 \text{ mm}$  y  $0,25 \text{ mm}$ , se puede obtener una filtración promedio de 15 litros de agua por hora.

Por otro lado, este diseño, evita las incertidumbres respecto al uso del FLA a nivel intradomiciliario, en el que la filtración no es un proceso continuo.

Ejemplo de FLA+FVC (modelo propuesto por CEPIS/OPS):

- Las características constructivas de este filtro son similares al FVC anterior, a excepción que se coloca sobre las velas, una capa de arena seleccionada de un tamaño efectivo de 0.3mm y un coeficiente de uniformidad de 2.
- La capa de arena debe cubrir los elementos filtrantes hasta 5 centímetros por encima de la parte superior del elemento filtrante.



*Fig.37- Esquema de FLA+FVC, modelo CEPIS/OPS*

## • ESTUDIO COMPARATIVO

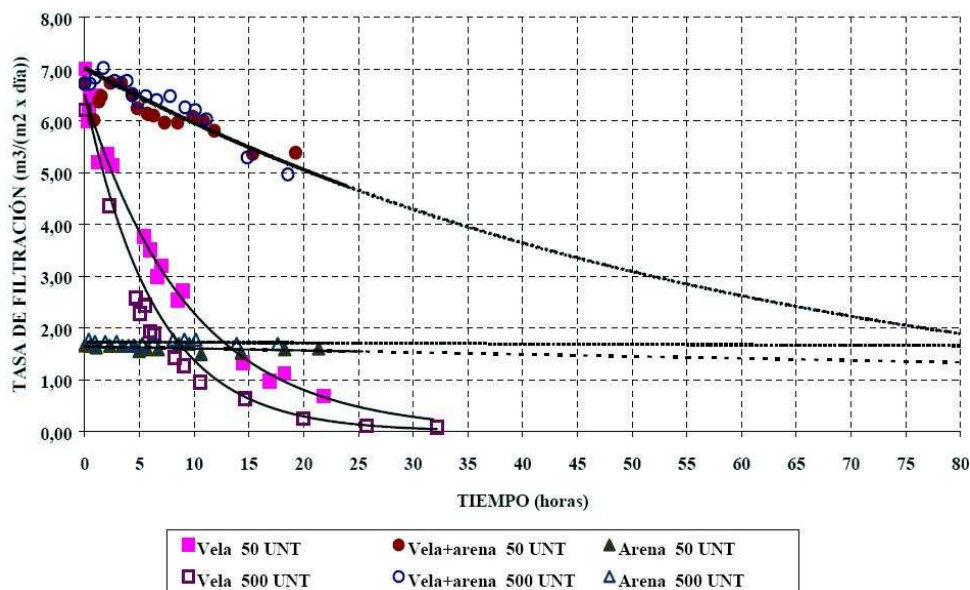
A continuación se presentan los datos presentados por la OPS en el que se comparan los tres modelos de filtro de mesa presentados anteriormente: se filtra agua con



turbiedad media (50 NTU) y alta (500 NTU), para una carga constante de agua de 31 cm (correspondiente a la máxima capacidad de almacenamiento de la unidad filtrante). Se establece una capacidad mínima de producción de 20 litros/día, de manera que las tasas mínimas de producción son:

- $0,50 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \times \text{día})$  para el filtro equipado con dos velas filtrantes (FVC)
- $0,35 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \times \text{día})$  para los filtros de velas filtrantes con prefiltro (FVC+FLA) y el de arena (FLA)
- $1,7 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \times \text{día})$  para el filtro lento de arena (FLA), equivalente a una máxima capacidad de producción de 97 litros de agua filtrada diaria.

En la figura a continuación se presenta la rápida disminución de la producción de agua filtrada a medida que el medio de filtrado se va degradando u obturando, observándose la principal desventaja del FVC: la rápida obturación del filtro cerámico, frente a una tasa casi constante en el caso del FLA. Por otro lado, queda patente la rápida filtración del sistema de velas cerámicas cuando el filtro está en condiciones óptimas, registrándose unas tasas de  $6,5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \times \text{día})$  para FVC frente a la tasa de  $1,7 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \times \text{día})$  para FLA. En la solución mixta (velas filtrantes con prefiltro de arena) se registran a priori las ventajas de ambos sistemas con una tasa inicial ligeramente superior al FVC y una lenta disminución de la eficiencia del filtro, debido a un menor ensuciamiento de las velas cerámicas.



*Fig.38- Evolución temporal de la capacidad de filtración*

Otra gráfica representativa resulta de la capacidad de producción de agua filtrada para cada una de las soluciones propuestas, contabilizando el volumen filtrado durante la vida útil de cada sistema de filtrado. Así, tenemos que el FLA registra una producción de 2000l para el agua de turbiedad media, lo que implica unos 100 días de operación ininterrumpida sin necesidad de lavado/cambio de la arena. Por otro lado el FVC, registra una capacidad de tan sólo 100l, equivalente a 5 días de producción de esos 20l diarios tras los cuales será necesario el lavado de las velas. En el caso de la solución mixta, la capacidad resulta de 100l, con lo que hasta 50 días podrá operar el filtro sin necesidad de renovación o limpieza de sus elementos.

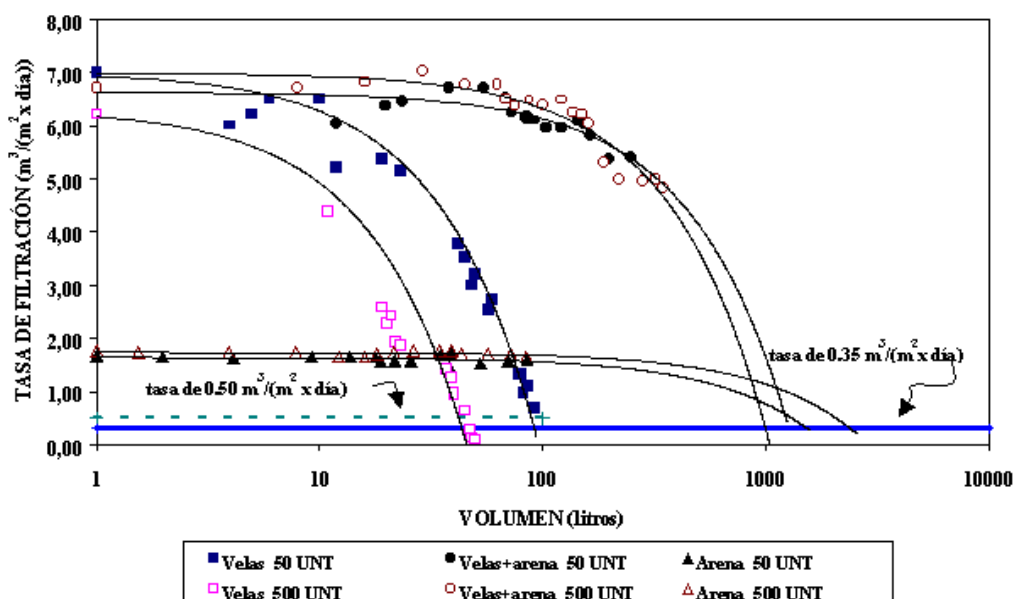


Fig.39- Capacidad de producción por tipo de filtro

Como vemos, si el agua cruda a filtrar no es excesivamente turbia, el sistema de FVC ofrece una rápida velocidad para obtener el agua de consumo siendo necesario un lavado semanal de las velas para mantener su eficiencia. Siendo el mantenimiento de estos elementos tan sencillo como un lavado simple sin detergentes ni químicos adicionales, se recomienda su utilización en poblaciones a las que no obstante habrá que educar en el mantenimiento constante del filtro.

Por otro lado, el uso de la solución mixta espacia temporalmente la necesidad de mantenimiento y alarga la vida útil de las velas, estimándose el empleo de las velas durante tres años consecutivos sin necesidad de cambio, disminuyendo el impacto de posibles dificultades para encontrar repuestos en el mercado nacional.

En el caso de aguas de gran turbiedad el sistema de arena es sin duda el más recomendable, pues evita los problemas del continuo mantenimiento así como el riesgo de la obtención de repuestos, pues todos los componentes que intervienen en su fabricación pueden ser obtenidos en el mercado local. No obstante, será necesario prestar especial atención a la selección del material filtrante y al diseño del reductor de caudal, así como la correcta educación de preparación del filtro (que como ya se ha señalado requiere un proceso de maduración de la zooglea).

### 3.3.3.3 Cloración

- **Dosificador de hipoclorito de sodio**

El método más corriente para manufacturar hipoclorito de sodio de grado industrial es burbujeando gas cloro a través de soluciones de soda cáustica, obteniéndose concentraciones del orden del 12% al 14%. Este hipoclorito concentrado es de manejo

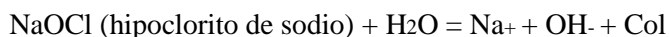


altamente peligroso y su concentración es muy inestable, ya que siendo muy ávido a la oxidación, su concentración se pierde rápidamente en función del tiempo. También pierde rápidamente su concentración por la temperatura, la exposición a la luz y el material del tanque de almacenamiento.

Se produce clorando el hidróxido de sodio (soda cáustica) de acuerdo con la siguiente reacción:



En el caso del hipoclorito de sodio, la reacción que tiene lugar es:



- ***Electrolisis “in situ” (producción de hipoclorito de sodio)***

La tecnología de los generadores de hipoclorito de sodio *in-situ* parte del principio de la electrólisis del agua salada: el paso de electricidad entre el ánodo y el cátodo a través del agua salada, hace que el  $\text{H}_2\text{O}$  y el  $\text{ClNa}$  reaccionen y formen el  $\text{ClO}^-$  liberando hidrógeno en su reacción en la parte catódica.

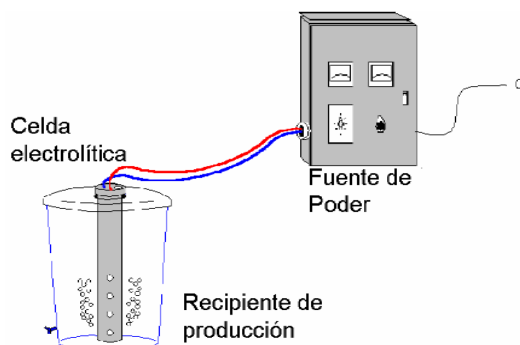
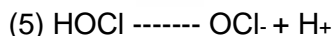


Fig.40- Esquema de producción de cloro in situ

Esta tecnología es prácticamente la misma para la obtención del cloro elemental:

- El cloro se genera en el ánodo mientras el cátodo produce hidrógeno:  
(1)  $2 \text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2 \text{e}^-$   
(2)  $2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2 \text{OH}^-$
- Estando aun en la celda, el cloro reacciona inmediatamente y forma ácido hipocloroso de acuerdo a la reacción:  
(3)  $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HOCl} + \text{H}^+ + \text{Cl}^-$
- Considerando que comenzamos con sal ( $\text{NaCl}$ ), todas las reacciones llevan a lo siguiente:  
(4)  $2 \text{NaCl} + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{NaOH} + \text{H}_2 + \text{HOCl} + \text{HCl}$
- En la misma celda, todo el ácido hipocloroso se disocia y forma el ión hipoclorito el cual se considera como Cloro Libre Disponible o FAC de acuerdo a la siguiente reacción de equilibrio:



- Si las concentraciones de HOCl y OCl<sup>-</sup> son las mismas, la reacción total en la celda es como sigue:



El desarrollo de ánodos especiales de bajo consumo eléctrico, ha hecho que el proceso sea económico y confiable. Actualmente se utilizan ánodos con estructura básica de titanio (prácticamente indestructible a la oxidación), que se revisten con óxidos de metales preciosos como iridio, rodio, platino. Este recubrimiento hace que la conductividad eléctrica sea mayor y más uniforme en toda el área de los electrodos causando una mayor eficiencia de producción y menor consumo de electricidad. El cátodo puede ser de titanio o de aleaciones especiales como Hastelloy-C o de acero inoxidable de alto grado.

Los ánodos duran por lo menos tres años siempre que la densidad de corriente aplicada no exceda los límites establecidos para la estabilidad del recubrimiento. Con el tiempo el recubrimiento se va perdiendo y el consumo eléctrico aumenta paulatinamente hasta que el proceso no resulte económico, teniendo que cambiar el electrodo.

El único mantenimiento que se le da al sistema es una inmersión periódica del electrodo en vinagre blanco (relación 1 a 5 de agua, durante 2 h) para limpiar la dureza de carbonatos y fosfatos depositados en el cátodo. Electrodo:

Con este sistema se genera hipoclorito de sodio a una concentración del 0,6% al 1,0% (6,000 ppm - 10,000 ppm), concentración relativamente baja comparada con el hipoclorito comercial (12%), lo que hace que sea muy estable debido a que su avidez de oxidación baja notablemente.

### **3.3.4 SISTEMAS UTILIZADOS EN GUATEMALA**

Dentro de las tecnologías utilizadas en Guatemala para el suministro de agua potable, se presentan en este apartado aquellas que fueron registradas en el documento “Experiencias de Tecnologías de Agua y saneamiento a nivel rural de Guatemala”, elaborado en 2006 por RASGUA (Red de Agua y Saneamiento de Guatemala) [30].

#### **a) Acueductos Urbanos y Rurales (por gravedad y bombeo)**

En esta tecnología pueden encontrarse la aplicación de alguno de los elementos que a continuación se mencionan:

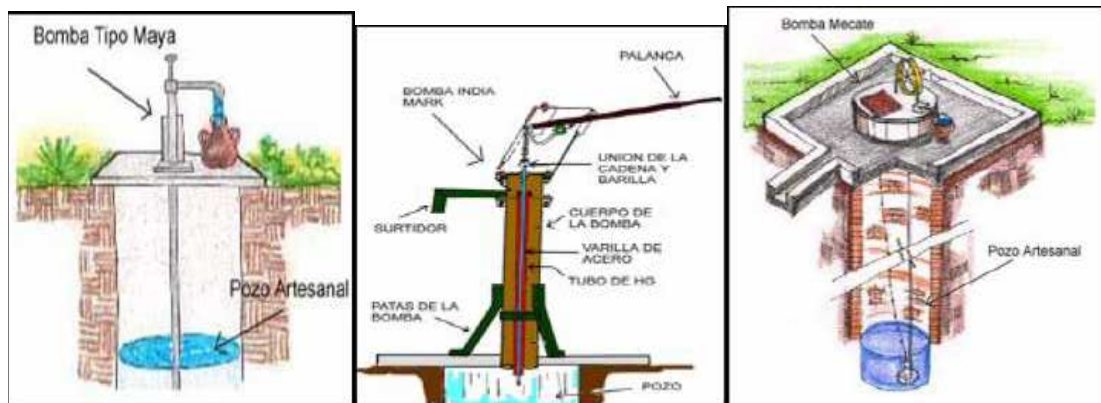
- Obras de captación de fuentes superficiales
- Obras de captación de fuentes subterráneas
- Pozos profundos
- Sistemas de Bombeo con motores eléctricos, de gasolina y diesel
- Líneas de conducción de PVC y HG
- Tanques de almacenamiento, elevados, semienterrados y expuestos
- Cajas rompe presión, pasos elevados



- Plantas potabilizadoras
- Sistema de desinfección
- Líneas y redes de distribución
- Sistema de conexiones (llena de cántaros, prediales o intradomiciliar)

#### **b) Sistemas de pozos artesanos**

- Pozo artesanal con bomba manual tipo Maya
- Pozo artesanal con bomba manual tipo Indian MarkII
- Pozo artesanal con bomba manual tipo Indian MarkIII
- Pozo artesanal con bomba manual de lazo o Mecate



*Fig.41- Esquema de bombas manuales utilizadas en Guatemala*

La utilización de bombas manuales está ampliamente extendida por el territorio guatemalteco, especialmente en las zonas rurales que representan la mayoría del territorio nacional.



*Fig.42- Mapa de cobertura de bombas manuales en Guatemala, Programa Agua Fuente de Paz y datos OPS*





### c) Sistemas no convencionales

- Captaciones de agua de lluvia
- Arietes Hidráulicos
- Bombas accionadas con energía solar

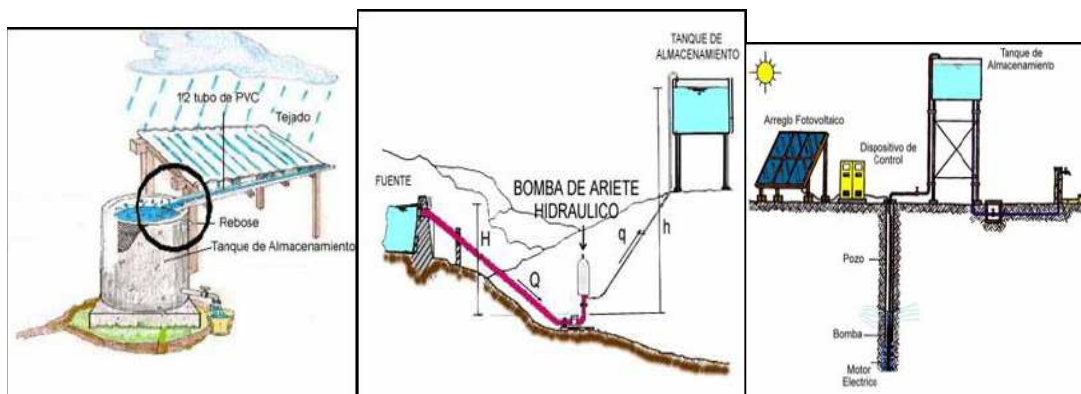


Fig.43- Esquema de sistemas no convencionales utilizados en Guatemala

### d) Sistemas para tratamiento intradomiciliario de agua

- Ebullición
- Cloración
- Desinfección solar de agua (SODIS)



Fig.44- Trifoliar para el tratamiento rural de agua para consumo





## **CAPÍTULO II – DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA**



## **1- DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN**

**E**ste estudio se lleva a cabo en la comunidad de Sepur, situada en el Departamento de El Petén, y dependiente de la municipalidad de Sayaxché. Con el fin de realizar un dimensionamiento adecuado del sistema de abastecimiento de agua en el municipio, resulta imprescindible conocer el contexto y las características de esta población.

Así pues, es necesario exponer que la República de Guatemala, con una población de 12 millones de habitantes, consta de 331 municipalidades en las que se hablan 23 idiomas diferentes. Es una sociedad multiétnica, multilingüe y pluricultural, que además ha sido marcada por un conflicto armado interno de 36 años de duración. Este enfrentamiento polarizó la sociedad civil, y fue la causa de grandes desplazamientos humanos tanto al norte del país (zona sin accesos por carretera en aquel entonces) así como migraciones a los países limítrofes, como México, Honduras y El Salvador. En el año 1996 se firmaron los Acuerdos de Paz, y desde entonces el país vive un proceso activo y participativo de consolidación democrática y civil.

La población indígena representa el 41%<sup>3</sup> de la población total y la mayoría se concentra en las regiones noroccidental, norte y parte sur occidental del país. Desde el punto de vista de la exclusión social, son las mujeres, los indígenas y los trabajadores rurales los que más la padecen; y resulta importante señalar que más del 66% de las familias indígenas viven en condiciones de extrema pobreza.

La región de El Petén está poblada mayoritariamente por indígenas de etnia q'eqchí, que trabajan la tierra con los cultivos tradicionales (maíz, frijol, arroz y chile), y que poseen algunos animales domésticos y árboles frutales para autoconsumo.

Como ya se ha comentado en las condiciones de la población en relación con servicios básicos como el acceso al agua para consumo humano se estima una cobertura aproximada del 59 % en el área rural, representando casi 5,000,000 de habitantes los que no cuentan con este servicio básico. De este dato a nivel nacional, ha de recordarse que en el caso del departamento de El Petén la cifra aumenta al 64% de su población sin acceso a fuentes mejoradas de abastecimiento.

Además, sólo el 3 % de las aguas residuales recibe algún tratamiento y menos del 6 % de los residuos sólidos tienen disposición final adecuada: de hecho, el 52% de la población en El Petén no aplica ningún tratamiento previo a la ingesta de agua, y tan sólo el 32% la hierve, mientras que un 14% aplica la cloración.

A continuación, se presentan algunas características y coberturas básicas tanto del Caserío de Sepur, como de las dos poblaciones cercanas a las que ha de desplazarse su población para encontrar algunos servicios básicos: el Caserío de Las Pozas y la cabecera municipal, Sayaxché. Los datos son extraídos del informe de la Secretaría de Programación y Planificación de la Presidencia en 2003 (documento adjunto en Anexos) y se reflejan también las previsiones de crecimiento a diez años [31]:

---

<sup>3</sup> Informe Nacional de Desarrollo Humano 2005. PNUD.



		Caserío Sepur	Caserío Las Pozas	Sayaxché
Nº de familias		60	369	1560
Población 2003		360	2214	7800
Población 2013		533	3277	11546
Agua potable		llena cántaros	domiciliar	domiciliar
Drenaje sanitario		—	—	x
Letrinas		x	x	—
Tratamiento de basuras		—	—	x
Estado de las vías de acceso		terracería	asfalto	asfalto
Escuelas e institutos	Pre-primaria (3-6 años)	1	1	44
	Primaria (7-12 años)	1	1	3
	Básico (13-15 años)	—	—	3
	Diversificado (16-18 años)	—	—	6
Energía eléctrica		—	—	INDE (instituto nacional de electricidad)
Puesto y Centro de Salud		—	Puesto de salud	Hospital distrital

*Fig.45- Tabla resumen de coberturas básicas, SNIP 2003*

## **a) ANÁLISIS SECUENCIAL DE FACTORES POBLACIONALES**

Se pasa a continuación a realizar un análisis secuencial de factores sociales, culturales, técnicos y económicos como clave para identificar la opción tecnológica y el nivel de servicio más idóneo. Este análisis dará el contexto global necesario para una posterior selección tecnológica apropiada al mismo.

### • Población:

En las fechas de estadía en la Comunidad, la población de Sepur está formada por 64 familias, con una población total de 448 habitantes, siendo 211 mujeres y 237 hombres. De estos datos, el 44% de la Comunidad son niños y niñas menores de 10 años (197 en total). El 100% de la población es indígena, de etnia queqchí, y con una tasa de crecimiento poblacional del 4% anual.



*Fig.46- Niños y niñas (dcha.) y familia (izq.), Sepur 2007.*

#### • Viviendas

La Comunidad cuenta con un total de 64 viviendas familiares, siendo su distribución lineal en torno al camino de terracería que une la Comunidad con la carretera asfaltada. Las viviendas están construidas principalmente por los siguientes materiales:

- Madera, para las paredes y puertas.
- Palma (guano y manaco), para los techos
- Lámina, se está introduciendo su uso para la construcción de los techos y casi todas las familias disponen de una edificación con este material en el techo.
- Los pisos son de tierra.



*Fig.47- Casas familiares, Sepur 2007.*

#### • Infraestructuras

La Comunidad de Sepur está localizada a 40 kilómetros de su cabecera municipal, Sayaxché. Actualmente se puede acceder por carretera hasta la Comunidad, sin embargo sólo 33 kilómetros de carretera está asfaltada, el resto es de terracería siendo su acceso muy dificultoso en los meses de lluvia.

La Comunidad no cuenta con ningún servicio público de transporte y sólo dos familias disponen de vehículo particular, realizando servicios de conexión con Las Pozas y Sayaxché cuando las actividades propias de su trabajo lo requieren, o la demanda es



suficiente para que les compense el pago del combustible, con lo que no siempre están disponibles.

Por el momento, no hay ningún estudio por parte de la Municipalidad de Sayaxché cuyo objetivo sea el de conectar adecuadamente el acceso con la carretera, ni tan siquiera de urbanizar las calles de la Comunidad.



*Fig.48- Mapa situacional: Sepur, Las Pozas, Sayaxché*



*Fig.49- Camino de tierra de Sepur hacia la carretera (izq.), y Las Pozas (dcha.)*





- Condiciones sanitarias

En Sepur no existen promotores de salud que realicen tareas de primeros auxilios y de sensibilización. Tan sólo reciben la visita de un promotor dentro del programa Creciendo Bien, para la salud y desarrollo de la infancia. Tampoco existe una unidad mínima de atención sanitaria, teniendo que desplazarse a la comunidad más próxima donde se encuentra el centro de emergencia más cercano, a cargo de una enfermera, a 12 km (Las Pozas). En caso de requerir atención médica en un hospital tienen que desplazarse hasta Sayaxché, su cabecera municipal, que se encuentra a unos 40 kilómetros de distancia y 2,5 horas de camino en vehículo.

La Comunidad de Sepur no cuenta con asistencia sanitaria para atender los partos, es la propia familia la que se encarga de esta tarea, teniendo que desplazarse hasta Sayaxché en caso de complicaciones.

Se observan importantes carencias en aspectos higiénicos y sanitarios: aunque existen letrinas en todas las viviendas, son muchas las familias que carecen de hábito de uso de este dispositivo sanitario. El agua que consumen las familias proviene principalmente del río que pasa próximo a las construcciones, cuyo caudal desaparece en la época seca y que resulta no apto para consumo humano, obligando al desplazamiento a más de 1,5km para la recogida de un agua del que tampoco se asegura su calidad, lo que supone más de 30 minutos para la recolección del agua.



*Fig.50- Mujer indígena acarreado el agua, Sepur 2007(izq.) e ilustración de las costumbres higiénicas de la Comunidad (dcha.)*

Por otro lado, no se realiza un tratamiento adecuado de las basuras: los desechos (plásticos principalmente) se queman ocasionalmente, pero la mayoría de las familias los tiran sin más en el terreno.

- Educación

La Comunidad cuenta con una Escuela, distribuida en cuatro aulas para las cuales hay cuatro maestros titulados. Los alumnos disponen en el interior del recinto de tres



letrinas y un amplio espacio de terracería para los juegos. La Escuela cuenta con los 6 grados de primaria y Básico.

- Servicios comunitarios

Sepur no dispone de Mercado para la compra y venta de productos, para el abastecimiento y venta de alimentos la población debe desplazarse hasta Las Pozas (población mayor, localizada a más de 12 km).

Tienen la posibilidad de hacer alguna pequeña compra de productos básicos (como huevos, jabón o arroz) en alguna de las 2 tiendas particulares que se encuentran en la Comunidad, una de las cuales es gestionada por muchas de las integrantes del Comité de Mujeres.

En el punto más elevado topográficamente de la Comunidad se encuentra la Iglesia y la Escuela. Las reuniones comunitarias tienen lugar a la par, bajo una construcción techada con lámina y dispuesta de unos troncos a modo de bancas. El patio de la Escuela sirve de campo de fútbol, donde se disputan partidos amistosos, ya sea entre los propios habitantes de la Comunidad, como con otras personas de Comunidades cercanas.



*Fig.51- Techo para reuniones comunitarias, junto a la Escuela y la Iglesia*

- Producción y economía

La principal actividad económica de la Comunidad de Sepur es la Agricultura, siendo fundamentalmente los productos cultivados los propios de la cultura maya: el maíz, frijol, pepitoria y el chile jalapeño. Aproximadamente cada familia dispone de un terreno de 3 manzanas para cultivar sus productos. De las cosechas obtenidas la mayoría se destinan al consumo familiar y los productos sobrantes se venden fuera de la Comunidad. Además también crían, en los terrenos adyacentes a las viviendas, gallinas, pollos, pavos y cerdos, mayoritariamente para el autoconsumo. En la Comunidad existe un promotor agrícola que se capacita en la Comunidad de Las Pozas a través de un Proyecto llevado a cabo por la Organización LOQ LAJ CHOCH (Sagrada Tierra) y que a su vez transmite su formación a otros 17 participantes en su propia Comunidad. De esta manera la población tiene la oportunidad de introducir mejoras en su producción agrícola.



*Fig.52- Campos de maíz (izq.) y siembra de frijol (dcha.), Sepur 2007.*

- Organización comunitaria

La Comunidad está organizada a través de distintos comités que la propia Comunidad elige: *Alcaldía Auxiliar*: constituida por un Alcalde Auxiliar y dos alguaciles, *COCODE* (Comité de Desarrollo Comunitario): constituido por 7 miembros. También destaca el *Comité de Mujeres* (Oxlahú Aj) formado por 27 mujeres, entre las cuales hay los siguientes cargos: Presidenta, Vicepresidenta, Secretaria, Tesorera y 2 vocales.



*Fig.53- Integrantes del Comité de Mujeres Oxlahú Aj, Sepur 2007*

## **b) CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA ZONA**

Se presentan a continuación tanto las condiciones geológicas (tipo de suelo, orografía e hidrografía) así como las condiciones climáticas (temperatura y humedad) de la Comunidad de estudio, realizando una breve mención a los actuales usos del suelo.

- Condiciones geológicas

La comunidad de Sepur fue fundada hace unos 15 años, lo que significa que aún quedan zonas fértiles sin explotar donde el suelo mantiene sus características físico-





químicas intactas. Sin embargo el crecimiento de la población está diezmando estos espacios y ya hay problemas de degradación de suelos. Como en la mayoría del Municipio se ha eliminado la cobertura vegetal a marchas forzadas sin preocuparse de reestablecer sus beneficios.

En relación con el proyecto de agua potable los principales condicionantes son la poca profundidad del suelo y la composición del mismo (las primeras capas están compuestas de arcillas lo que dificultará el trabajo en la época lluviosa)

Respecto a la orografía, la mayoría del municipio de Sepur tiene una gran cantidad de terreno plano. Está salpicada por algunas ondulaciones suaves, pero en líneas generales es un terreno llano. No hay grandes desniveles en la finca; la máxima diferencia de cotas es de 20 m aproximadamente y el punto más elevado se sitúa en las cercanías de la Escuela.

La raíz del problema de abastecimiento de agua de la comunidad, radica en que no existe ningún cauce de agua permanente. Durante la época lluviosa hay uno que discurre junto a la población, pero es un cauce muerto y en la época seca desaparece. En el momento de realizar este estudio la comunidad contaba con un nacimiento natural que resultaba insuficiente para cubrir las necesidades. Ciertas zonas ubicadas en la parte más baja de la finca presentan características que dan indicios de la existencia de acuíferos subterráneos. Existen unos 5 pozos artesanales, la mayoría de los cuales se secan en verano.

#### • **Condiciones climáticas**

El clima es de tipo tropical cálido y húmedo. Tiene una época de lluvias bastante larga, y una época seca más o menos definida entre los meses de Enero y Mayo. La temperatura media varía entre 23 °C en Diciembre y 32 °C en Mayo. Las máximas entre 30-45 °C y las mínimas entre 17-23°C. Las precipitaciones son muy similares al resto de los territorios de Petén con valores comprendidos entre 1200-3000 mm/año. La humedad relativa es muy alta, llegando a valores del 85-90% a primera hora de la mañana, siendo los momentos de menor humedad relativa a mediodía, con valores entorno al 60%.

Se adjunta a continuación el diagrama climático que se ha elaborado a partir de datos de la estación Meteorológica de Ciudad de Flores, que se considera válido para esta zona.

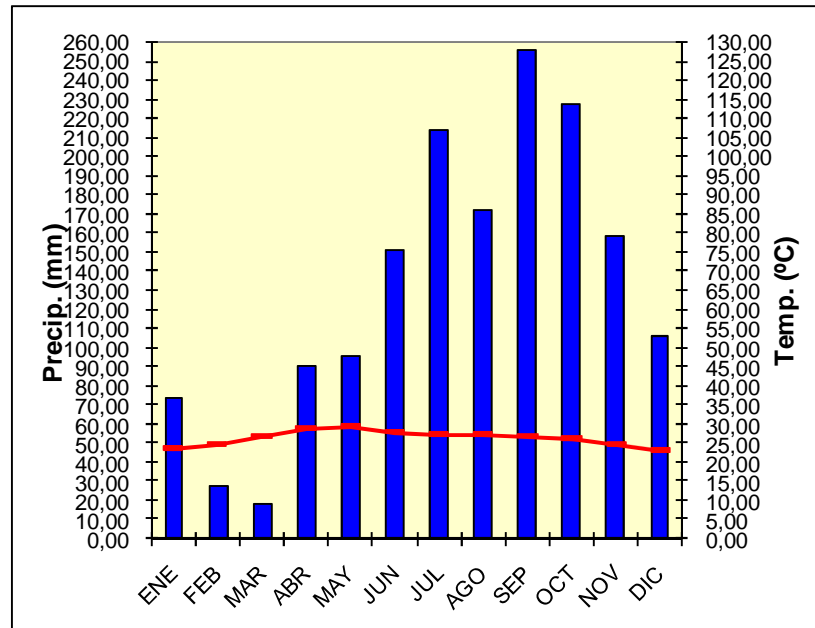


Fig.54- Ciudad de Flores (110m).  $T_M=26,4$  °C.  $P=1589.90$  mm

#### • Usos del suelo

En Sepur se presentan tres utilizaciones básicas del suelo: *agrícola*, *“forestal”* y *urbano*. El término forestal aparece entrecomillado porque no se trata de una explotación forestal comercial sino más bien de subsistencia, siendo lo más común la recolección de especies silvestres para uso doméstico. Según los distintos usos es posible hacerse una idea del tipo de vegetación y características de la zona. Las zonas agrícolas son ecosistemas en los que domina un cultivo principal pero que también albergan otras especies sobretodo en las zonas limítrofes. Las zonas forestales albergan las especies típicas del Bosque Muy Húmedo Subtropical Cálido (BMHSC), así como algunas especies animales asociadas a esta zona vegetal. La zona urbana supone una pequeña parte de la finca pero su impacto es muy significativo.

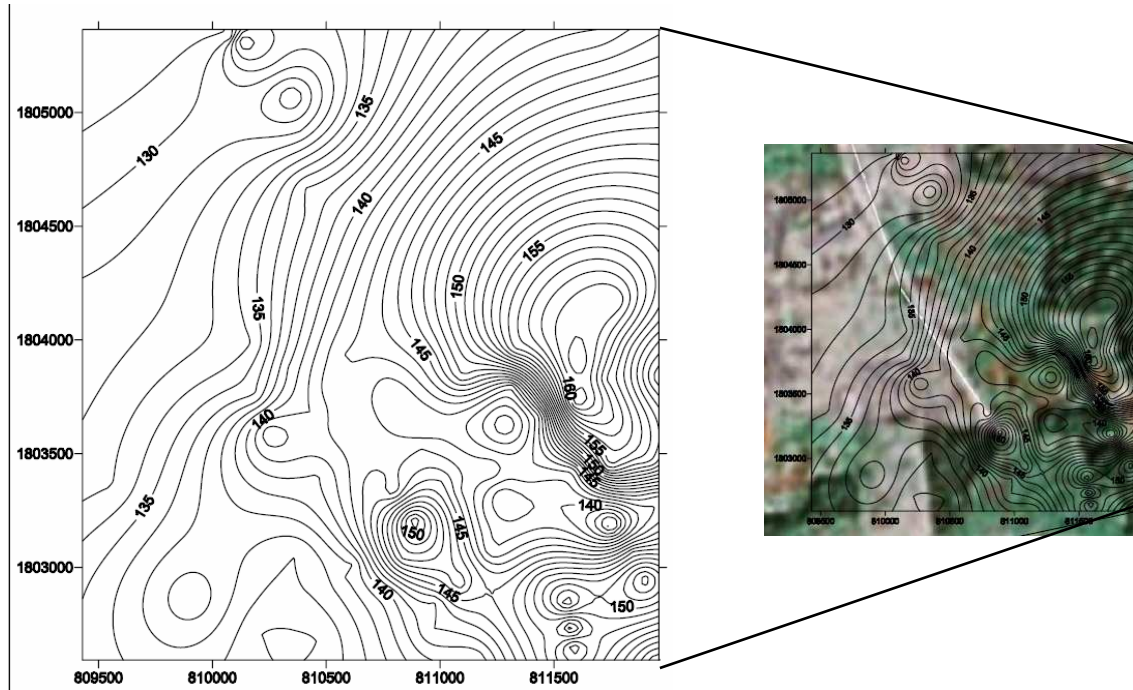
#### • Mapa topográfico

Se ha realizado una toma de datos topográficos a través de software informático dispuesto en Internet, que posteriormente se han introducido en el programa SURFER y se ha dibujado el plano topográfico de la población. En la figura 55 se listan los datos para el mapa topográfico y en la figura 56 se muestra un detalle de dicho mapa (el plano de la topografía se incluye en los anexos).



X	Y	Z	X	Y	Z
174,88	3983,77	134	1958,05	3298,31	142
332,9	3879,35	139	1750,8	3188,22	135
577,55	3944,65	143	1851,28	3071,21	147
757,33	3835,61	142	1586,02	2650,63	151
954,23	3919,27	145	1446,88	2950,96	148
1097,1	3839,79	148	1127,1	2917,18	146
1324,33	3958,64	156	1227,49	3072,63	141
1459,84	3831,97	154	830,74	3038,34	148
1603,03	3902,4	162	620,55	3016,08	138
1727,04	3830,79	157	368,84	3062,85	136
1838,08	3970,13	155	394,36	2907,27	136
1954,51	3988,73	152	466,87	2684,79	135
1960,7	3838,09	149	958,37	2718,03	142
1896,33	3693,26	154	1159,81	2593,3	140
1763,3	3651,03	158	1576,8	2733,96	144
1593,78	3728,26	162	1948,92	2591,91	141
1586,24	3598,35	154	211,85	2719,28	135
1439,48	3665,91	143	123,35	5316,27	135
1311,4	3792,4	142	261,65	5206,11	132
1286,07	3625,33	138	349,92	5071,62	128
1119,94	3642,95	191	383,32	4915,77	131
924,16	3619,5	141	405,68	4671,54	137
610,04	3625,73	143	407,46	4539,25	137
537,25	3787,66	143	427,73	4388,96	138
443,14	3686,09	141	533,18	4177,35	141
249,14	3590,61	143	619,05	3993,1	143
185,74	3753,34	136	787,4	3751,34	141
240,25	3407,41	140	918,23	3523,98	143
470,06	3412,91	140	1012,33	3375,96	145
724,07	3358,97	144	1187,97	3247,06	141
794,14	3336,56	142	1224,73	3428,83	143
883,13	3205,9	153	985,03	2847,49	142
1088,66	3334,92	143	786,63	2881,1	140
1270,89	3311,5	139	578,8	2957,05	138
1378,01	3422,8	142	1173,77	2797,27	144
1584,35	3422,43	142	1738,88	2842,68	150
1742,15	3444,14	155	1893,71	2947,43	154
1925,51	3461,74	153	1896,76	3124,7	144
1958,05	3298,31	142	1557,04	2843,38	153

*Fig.55- Datos para el mapa topográfico*



*Fig.56- Detalle del mapa topográfico*

## 2- DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

**A**nte la necesidad de implementar un sistema de abastecimiento de agua apropiado dentro del contexto socioeconómico y con los condicionamientos climáticos anteriormente expuestos, se desarrollará el análisis secuencial de factores técnicos, económicos, sociales y culturales, presentado en la figura 21 de este documento, de manera que podamos identificar las propuestas adecuadas para el diseño del sistema.

Hablamos pues de una población rural que después de quince años de asentamiento va configurándose en una población concentrada que empieza a demandar una urbanidad y un acceso a los servicios básicos de su municipalidad. Por ello representaremos dos alternativas suponiendo los posibles escenarios de apoyo de la municipalidad (o de otros agentes locales y externos) para lograr o no lograr ese paso hacia la urbanidad y las dotaciones básicas de servicios comunitarios, como puede ser la conexión domiciliaria y segura a una red de distribución de aguas.

Así pues, identificamos una primera solución en la que se suponen unas inversiones de la municipalidad de Sayaxché en el Caserío de Sepur, de manera que podamos hablar de implantar un proyecto en una población considerada como concentrada en los términos anteriormente definidos, y que con el suficiente apoyo en su prosperidad podamos suponer como de ingresos económicos medios. Se supondrá la inversión de



dichos agentes municipales o externos, en la obtención de las aguas subterráneas mediante la excavación mecánica de un pozo para el desarrollo social y mejora de la población (ALTERNATIVA 1).

El otro escenario, será suponer que estos apoyos para el desarrollo de la comunidad siguen sin conseguirse de manera que sea necesario optar por una alternativa tecnológica adaptada a una población de bajos ingresos económicos en la que no se vaya a recibir apoyo de los agentes municipales o externos, por lo que se plantea el desarrollo de un sistema de recogida de las aguas pluviales como medida para subsanar las carencias de acceso al agua detectadas (ALTERNATIVA 2).

Así pues, podemos hablar de dos alternativas tecnológicas de características bien diferenciadas:

- por un lado, una solución mediante un *Sistema Convencional* de abastecimiento de agua obtenido de las reservas subterráneas, que será bombeado por gravedad a toda la Comunidad mediante una red de tuberías y que demandará una gestión pública del sistema.
- y por otro, una solución mediante un *Sistema No Convencional* de abastecimiento de agua, que dispondrá de reservas unifamiliares de agua pluvial, obtenido mediante bombeo manual y mantenido por la unidad familiar.

Ambas soluciones, se especifican en la figura 57 expuesta a continuación.

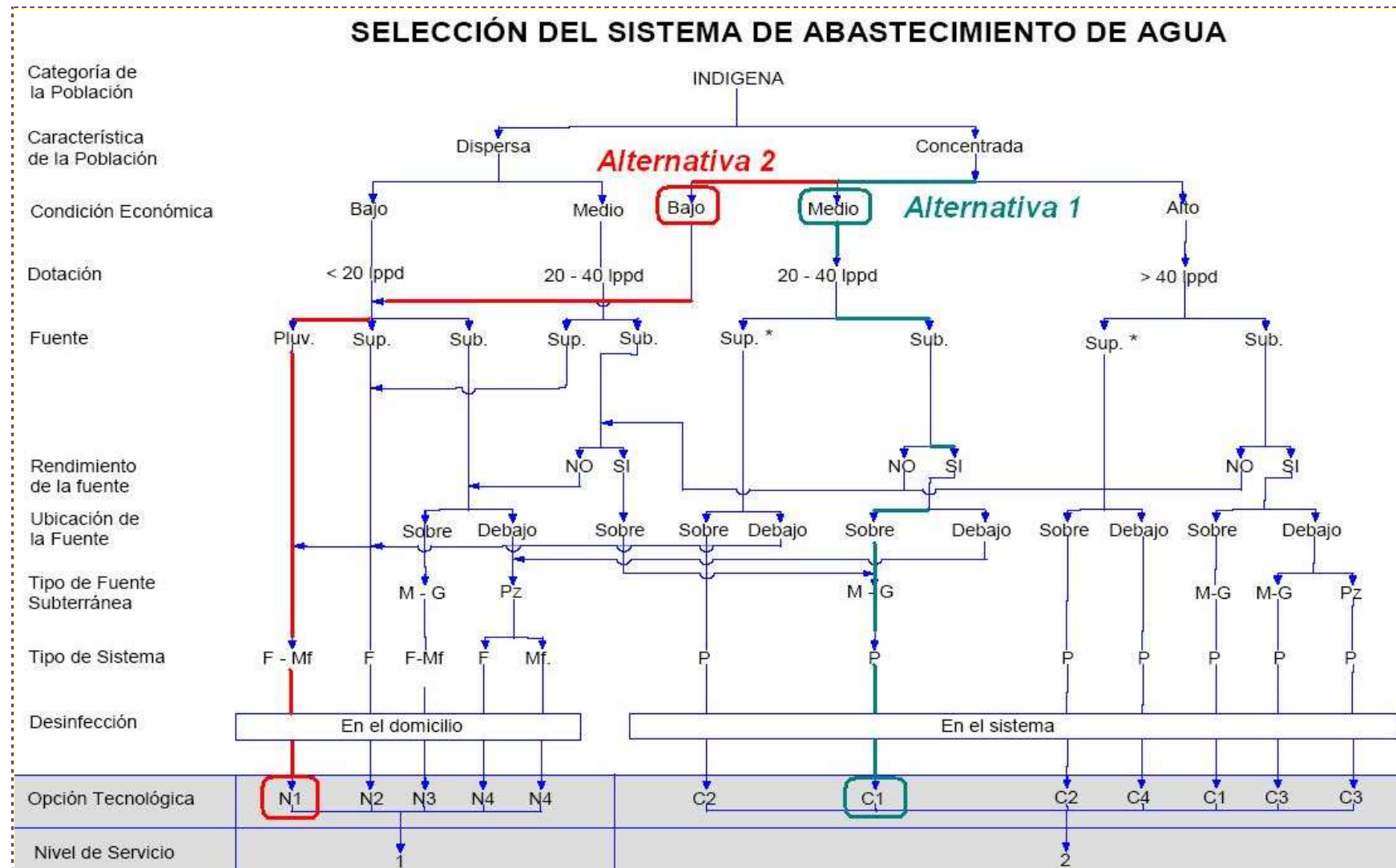


Fig.57- Selección de las alternativas tecnológicas planteadas



Las principales características diferenciadoras de las alternativas propuestas, se resumen en la tabla a continuación:

	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
<b>SISTEMA</b>	Convencional	No Convencional
<b>FUENTE</b>	Subterránea	Pluvial
<b>TECNOLOGÍA</b>	Bombeo en Red Distribuida	SCAPT
<b>NIVEL DE SERVICIO</b>	Público	Familiar
<b>TRATAMIENTO</b>	Cloración	Filtros

*Fig.58- Comparativa de las alternativas propuestas*

No obstante de las diferencias tecnológicas de las alternativas propuestas, hay una serie de parámetros previos comunes a ambas, como es la población objetivo para la que se dimensionará el sistema y la cantidad de agua de diseño media diaria por habitante; las cuales se indican a continuación:

- Población servida: no sólo hay que tener en cuenta la población actual ya comentada, sino las previsiones de crecimiento en el periodo de vida útil del proyecto.

$$P = P_0 \cdot (1 + TCA)^n = 448 (1+4\%)^{20} = 981 \text{ habitantes}$$

- Dotación media diaria: como ya se explicó en el apartado dedicado a la cantidad de agua, se toma como criterio de diseño un valor de, 80l/h/d.

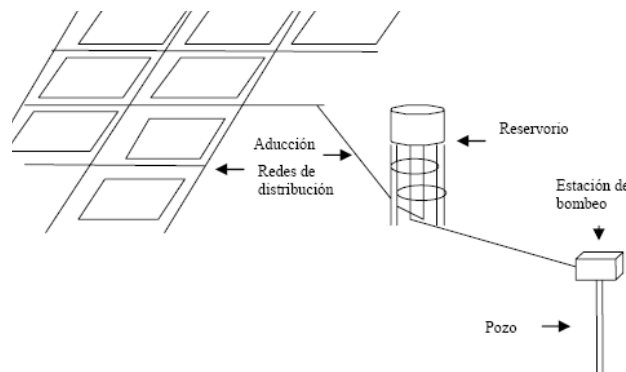
$$D=80 \text{ litros/hab. día}$$

Con el objetivo de realizar una comparación entre ambas soluciones desde el punto de vista de implantación real del proyecto, se desarrollan a continuación los cálculos necesarios para el correcto dimensionamiento de todos los elementos del sistema basándonos en los marcos teóricos y tecnológicos presentados en los anteriores capítulos.



## **ALTERNATIVA 1: POZO Y RED DISTRIBUCIÓN**

Como ya se ha comentado, la primera solución propuesta se parte de la hipótesis de inversión municipal en el desarrollo de la Comunidad, por lo tanto se presenta una solución mediante un Sistema Convencional. En primer lugar se realizará la perforación mecánica de un pozo, de donde obtener el agua necesaria que será bombeada hasta un tanque de distribución elevado tal que el agua pueda ser distribuida por gravedad hacia las viviendas, a través de una red de distribución y conexiones prediales.

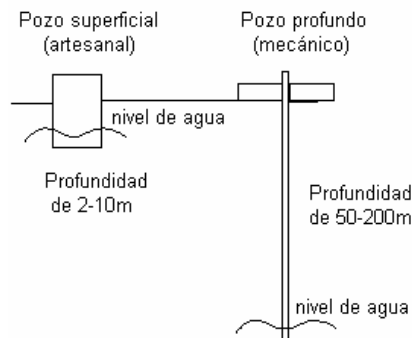


*Fig.59- Esquema del pozo, almacenamiento y red de distribución*

A continuación se exponen en detalle cada uno de los subsistemas para esta alternativa.

### **1- CAPTACIÓN DE AGUA**

Se propone una perforación de un pozo mecánico cerca del área de la Escuela, que es además un punto próximo a la cota más alta de la población, de manera que minimizamos la distancia necesaria para la línea de impulsión. La profundidad propuesta es de 90 metros, pues es el promedio de profundidad de los pozos de comunidades vecinas, y el diámetro propuesto es de 152 mm (6").



*Fig.60- Esquema comparativo excavación de pozos*





## **2- ALMACENAMIENTO**

El tanque de distribución o reservorio, se situará en el punto más alto de la comunidad que en este caso es la parcela de la Escuela. Sin embargo la cota en este punto (150 m) no es lo suficientemente elevada para que el sistema de distribución pueda funcionar por gravedad, por lo tanto se colocará un tanque elevado metálico con una altura total efectiva de 10 m.

El tanque estará provisto de una tapa que permita la entrada al mismo para realizar tareas de limpieza cuando éstas sean necesarias, y en la parte superior del depósito se dispondrán uno o dos respiraderos con mallado para evitar la entrada de elementos exteriores y que además habrán de ser vigilados para que no entre agua de lluvia.

No obstante, la base interior del depósito poseerá una ligera pendiente que asegure la concentración en una zona baja de todos aquellos elementos que puedan depositarse en el fondo. En ese lugar se colocará un punto de desagüe que deberá estar convenientemente protegido, para facilitar el vaciado del depósito en caso de ser necesario.

Es fundamental asegurar que el agua del depósito no circule en dirección hacia el pozo, por lo que se colocará la tubería de entrada en lo alto del depósito. Además se instalará un rebosadero para asegurar que el agua de su interior no entra en carga.

**CÁLCULOS:** se dimensiona a partir de las expresiones expuestas en las ecuaciones 31 a 33

- **Volumen diario:**

$$Vol_{dia} = 0.33 \cdot \frac{Q_{med} \cdot 86400}{1000} = 78,48 \text{ m}^3$$

- **Volumen de almacenamiento:** la capacidad del tanque de almacenamiento se calculada en función del volumen diario y teniendo en cuenta unos factores de compensación del 30%, y un factor de reserva del 40%:

$$\%Vol_{almacena} = \frac{f_c}{1 - \frac{f_r}{100}} = 50\%$$

$$Vol_{almacenam} = \frac{Vol_{dia} \cdot \%Vol_{almacena}}{100} = 39,24 \text{ m}^3$$

Añadiendo un factor de seguridad al volumen calculado, se tomará como diseño para esta alternativa un tanque de **50 m<sup>3</sup>**.

Dado que la población inicial es de 448 habitantes, y el consumo diario de diseño es de 80l/hab, tenemos que la cantidad almacenada sería suficiente para cubrir las necesidades durante más un día en el primer año (33,5 horas). Sin embargo el criterio de diseño teniendo en cuenta la tasa de crecimiento del 4% registrada, dará lugar a un



tiempo de abastecimiento garantizado ante interrupción del suministro de 15,3h al final de los 20 años de horizonte de diseño. En la figura 61 se presenta esta disminución temporal.

$$t_{descarga} = \frac{50000l}{80 \frac{l}{hab \cdot d} \times 448hab} = 33,4h$$

$$t_{descarga} = \frac{50000l}{80 \frac{l}{hab \cdot d} \times 981hab} = 15,3h$$

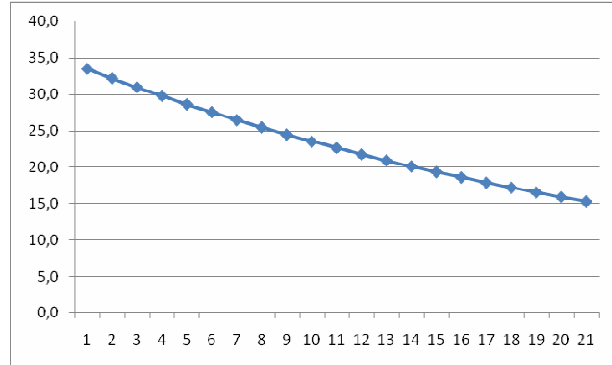


Fig.61- Detalle del tiempo de descarga del depósito sin recarga.

## 2- EXTRACCIÓN DE AGUA

Se propone la instalación de una bomba sumergible accionada mediante un generador que funcionará con combustible diesel, de manera que el caudal bombeado al tanque sea suficiente para cubrir la demanda de la población a un periodo de diseño de 20 años. Así pues la altura de elevación de la bomba será de 90 m hasta la cota del terreno, luego habrá que vencer las pérdidas de carga en el tramo de tubería hasta la base del depósito (75 metros lineales de longitud) y elevar el agua hasta los 10m de elevación del mismo.

A un lado de la de la boca del pozo, se propone construir una caseta de paredes de block y techo de lámina galvanizada de unos 9 m<sup>2</sup> de área efectiva, donde poder instalar el equipo de bombeo.

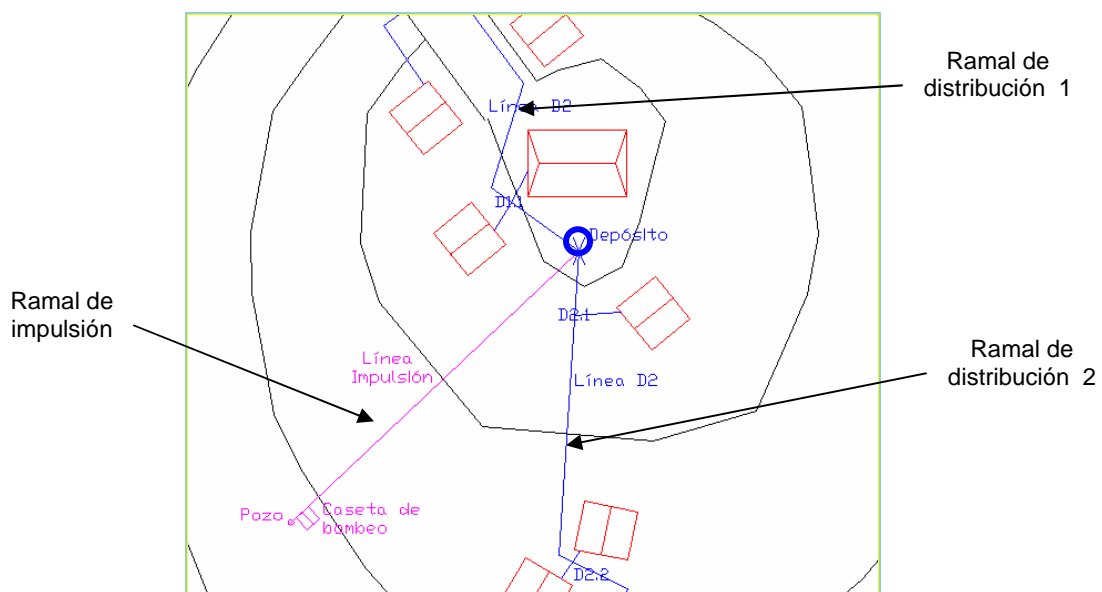


Fig.62- Detalle de implantación de la línea de impulsión y de las líneas de distribución.



La línea de impulsión será instalada desde la boca del pozo hasta la entrada del tanque de distribución, con una longitud aproximada de 175 metros (tal y como se aprecia en la figura 62), con tubería HG para la extracción y tubería de PVC para la impulsión. Deberán instalarse además sus respectivas válvulas de control con sus dispositivos y accesorios hidráulicos: adaptadores hembra, codos, niples, tes, uniones...La figura 63 detalla alguno de estos elementos necesarios.

Adaptador Hembra PVC	Niple HG T L
Cemento solvente	Reducidor Bushing HG
Codo HG 45°	Tee HG
Codo HG 90°	Tubos HG T.L
Codo PVC 90°	Tubos PVC 250 PSI
Lija de agua	Unión universal HG
Niple Corrido HG.	Valvula de Cheque horizontal

Fig.63- Algunos accesorios necesarios para el sistema de bombeo para extracción de agua

**CÁLCULOS:** teniendo en cuenta que desde el punto de vista hidráulico la aspiración y la impulsión funcionan en régimen permanente uniforme, los cálculos se resuelven a raíz de la aplicación del teorema de Bernoulli y la ecuación de continuidad expuestos en las ecuaciones 1 y 2.

- **Horas de bombeo:** parámetro de diseño del sistema como consecuencia de buscar el compromiso entre el caudal de impulsión y el gasto incurrido al tener el sistema funcionando (gasto de diesel). A partir de la ecuación 6, se tiene que:

$$h_{\text{bombeo}} = \frac{Vol_{\text{almac}}}{Q_{\text{imp}}}$$

Calculando el caudal conseguido para diversas horas de bombeo se obtiene la siguiente tabla:

HORAS de Bombeo	CAUDAL de Impulsión (l/s)
2	6,94
4	3,47
<b>5</b>	<b>2,78</b>
6	2,31
8	1,74
12	1,16
20	0,69
24	0,58

Fig.64- Tabla de caudales en función de las horas de bombeo

Se decide tomar 5 horas de bombeo al día como parámetro de diseño del sistema.



- **Caudal de impulsión:** en consecuencia de las horas de bombeo decididas,

según la ecuación 13 se tiene que:  $Q_{imp} = \frac{Vol_{almac}(m^3) \cdot 1000}{h_{bombeo} \cdot 3600 \frac{s}{h}} = 2,78 \text{ l/s.}$

- **Diámetro tubería de impulsión:** a partir de la ecuación 15, se elige un valor de la constante k de 1,4 ya que es la dependencia del precio de la energía eléctrica y de los materiales empleados de las organizaciones que realizan estudios en la zona de estudio.

$$D_e = k \cdot \sqrt{\frac{Q_i}{1000}} = 73,8 \text{ mm} \rightarrow D_{comercial} = 3''$$

- **Pérdidas longitudinales:** calculadas a partir de la expresión de la fórmula 3 y los valores recogidos en las figuras 9 y 10. Se tendrán en cuenta pérdidas en la tubería de extracción del pozo (2" HG. T.M.) de 90m de recorrido, y en la tubería del pozo al depósito (2" PVC) con 75m de recorrido. Se supone flujo estacionario y laminar. Se tomarán diámetros de 2" pues los cálculos previos con el diámetro inicial supuesto tan sólo dan pérdidas del orden de 1,25mca.

❖ Mediante la ecuación de Hazen-Williams, con un coeficiente de rugosidad C(PVC)=150, C(HG TM)=100, se obtiene un valor de:

$$h_c = \frac{10,7}{C^{1,85} \cdot D^{4,87}} \cdot Q^{1,85} \cdot L = 3,815 \text{ mca para la línea del pozo al depósito}$$

$$h_c = \frac{10,7}{C^{1,85} \cdot D^{4,87}} \cdot Q^{1,85} \cdot L = 4,578 \text{ mca para la línea extracción del pozo.}$$

---

$$\text{Total} = 8,393 \text{ mca}$$

❖ Utilizando la expresión de Manning, con un coeficiente de rugosidad n(PVC)=0,009 se obtiene un valor de:

$$h_c = \frac{10,3 \cdot n^2}{D^{5,33}} \cdot Q^2 \cdot L = 2,831 \text{ mca} + 7,193 \text{ mca} = 10,024 \text{ mca}$$

Comprobando con ello, su similitud para este problema con los resultados de Manning.

- **Pérdidas de carga secundarias:** calculadas en base a la ecuación 5 y los valores recogidos en la figura 12. Entre las singularidades del sistema se pueden citar una válvula de compuerta, codos de 90° y la unión de tubería al depósito.

$$h_s = \sum k_i \cdot \frac{v_i^2}{2g} = 3,137 \text{ mca}$$

- **Pérdidas Totales:** será necesario contabilizar la variación de cotas en la extracción e impulsión hasta el depósito comunitario, así como las pérdidas



longitudinales y las pérdidas por singularidades obteniendo, con las simplificaciones de la ecuación 16 adecuadas, un total de:

$$\Delta H = 90\text{m} + 0,75\text{m} + 10\text{m} + 7\text{m} + 13,161 \text{ mca} = 120,911\text{mca}$$

- **Potencia de la bomba:** considerando el agua como líquido ideal a temperatura ambiental, las pérdidas del sistema y el caudal de impulsión diseñado, mediante la ecuación un rendimiento del 65%, se tiene:

$$Potencia = \frac{\rho \cdot g \cdot \Delta H \cdot Q_{imp}}{\eta_b} = 5,17 \text{ kW} = 7,035 \text{ HP}$$

Así pues, se propone la instalación de una bomba sumergible de **15 HP** de capacidad, accionada mediante un generador que funcionará con combustible diesel y que tendrá la capacidad de generar 30 kw. El caudal de bombeo será de 73 galones por minuto, caudal suficiente para cubrir la demanda de la población, a un periodo de diseño de 20 años.

### **3- DISTRIBUCIÓN DE AGUA**

En este sistema se propone un sistema de distribución por gravedad desde el depósito comunitario de almacenamiento hasta los puntos domiciliarios de abastecimiento, mediante una red arborescente.

Se han diferenciado dos tipos de entramados: el caño de distribución, que será las tuberías de unión entre depósito y los nodos principales; y los ramales, que serán cada una de las acometidas familiares.

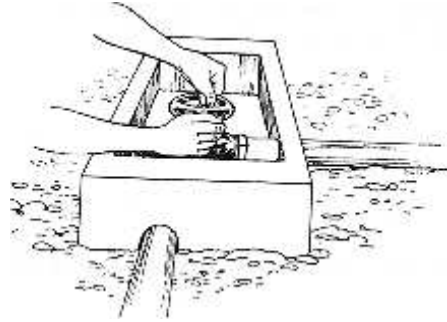
Las tuberías (de PVC) irán enterradas, al ir su trazado por el área urbana de la comunidad y el tránsito de caño de distribución a ramal se realizará mediante cajas de conexión en las que se situarán tanto las válvulas de paso para cortar el suministro en caso de reparación, como los contadores de cada ramal que permitirán establecer el consumo de cada parcela y, de esa forma, conocer el monte de dinero que deberá pagar cada familia. La ubicación de estas cajas será la más apropiada al diseño y la que menos entorpezca la cotidianidad de los habitantes.

Se propone enterrar los caños a 65 cm de profundidad y los ramales a unos 50 cm, de forma que se establezca una jerarquía organizativa en profundidad que permita que los ramales “salten” los caños para abastecer a ambos lados de las calles en aquellos lugares en que los trazados de los mismos coinciden.

Como apunte práctico para la ejecución, se propone colocar una T con un tapón (cortando el tubo de PVC si es necesario) cuando se pase frente a una parcela, de manera que se pueda asegurar que, en el momento en el que esa parcela quiera conectarse al sistema, tan sólo sea necesario cortar el suministro a todo el ramal correspondiente durante los dos minutos en que se tarde en sacar dicho tapón.

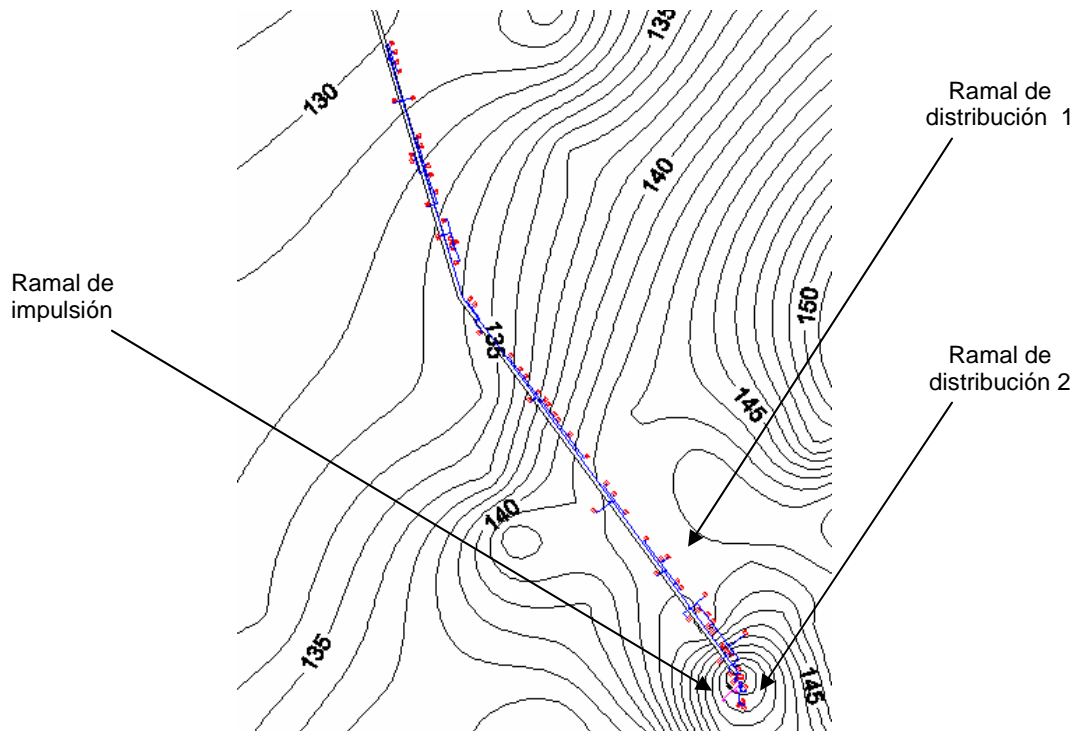


Las acometidas se realizarán a partir de las T colocadas en los ramales: en ese punto se ejecutará una caja con una llave de paso y un contador. A partir de allí se conectará una tubería de PVC de 1" enterrada en zanja hasta dentro de la parcela, que terminará en un grifo. El grifo estará situado a 100 cm de altura para facilitar la toma de agua.



Para los cálculos de la línea de distribución se realiza un estudio de los diferentes caños de distribución, para el caudal máximo horario y se dividirá la red de distribución en varios tramos. Los nodos finales de cada caño será el punto de ubicación de las cajas de conexión, a partir de los cuales saldrán los ramales de las acometidas domiciliarias.

A continuación se presenta la abstracción de la red propuesta como solución en esta comunidad en base al mapa topográfico elaborado y que se incluye en los Anexos, aunque en la figura 65 se ofrece el detalle de la red de distribución propuesta.



*Fig.65- Detalle de la red de distribución propuesta sobre el plano topográfico elaborado*

Se debe calcular el diámetro de tubería en cada tramo, así como la velocidad lineal del agua en el mismo, comprobándose que la altura disponible es suficiente para llegar a todos los puntos de la red con la presión suficiente.



Algunos de los elementos hidráulicos necesarios para la instalación de la red de distribución y de las conexiones domiciliarias, se resumen en las figuras 66 y 67.

<b>RED DE DISTRIBUCION</b>	
Cemento solvente	Lija de agua
Codo PVC 45°	Reductor Bushing PVC
Tapón Hembra PVC	Tubos PVC 160 PSI
T- PVC	

*Fig.66- Algunos accesorios necesarios para la red de distribución*

<b>CONEXIONES DOMICILIARES (sin contador)</b>	
Alambre de amarre	Llaves de paso
Adaptador Macho PVC	Madera en tabla
Arena de rio	Niples HG T.L.
Cemento portland 4000 PSI	Permatex negro, pomo
Cemento solvente	Varillas de Hierro liso
Clavo de 2 1/2"	Piedrin
Codo con rosca PVC	Teflón
Codo HG 90°	Tubo PVC 315 PSI
Coplas HG	Valvula de globo
Llaves de chorro	

*Fig.67- Algunos accesorios necesarios para el conexionado domiciliario*

**CALCULOS:** a partir de as ecuaciones 9 a 12 anteriormente expuestas, se tiene:

- **Caudal medio diario:**  $Q_{med} [l / s] = \frac{K_p \cdot D \cdot P}{86400 \frac{s}{dia}} = 2,36 \text{ l/s}$

- $K_p$  = coeficiente de simultaneidad, valor de 2,6 porque  $P < 1000$  hab.
- $D$  = dotación media diaria, 80 litros/hab. día
- $P$  = población servida, 981 hab.

- **Caudal máximo diario:**  $Q_{max \text{ diario}} [l / s] = 1.3 \cdot Q_{med} = 3,07 \text{ l/s}$

- **Caudal máximo horario:**  $Q_{max \text{ horario}} [l / s] = 2 \cdot Q_{med} = 4,72 \text{ l/s}$

- **Pendiente disponible:**  $S_d = \frac{H}{L} \cdot 100\% = 1,2\%$

- Altura disponible ( $H$ ) =  $150 - 135 + 10 = 25 \text{ m.}$
- Longitud tubería ( $L$ ) =  $2100 \text{ m.}$



- **Diámetros, pérdidas de carga, velocidad y presión:** se debe calcular el diámetro de tubería en cada tramo, así como la velocidad lineal del agua en el mismo, comprobándose que la altura disponible es suficiente para llegar a todos los puntos de la red con la presión suficiente. Para ello, se ha utilizado el programa de cálculo GESTAR obteniéndose los resultados de la figura 68.

*Ramal de distribución 1*

Elemento	Nodo Inicial	Nodo Final	L	D	Rug.	PdC	Q	v
TU4	BAL1	NU17	162,43	0,026	0,00001	2,5576	0,000	0,529
TU20	NU17	NU18	61,64	0,026	0,00001	0,9707	0,000	0,529
TU29	NU18	NU19	20,88	0,026	0,00001	0,3288	0,000	0,529
TU30	NU19	CC10	37,04	0,026	0,00001	0,5833	0,000	0,529
						4,4404		

*Ramal de distribución 2*

Elemento	Nodo Inicial	Nodo Final	L	D	Rug.	PdC	Q	v
TU5	NU8	NU6	122,42	0,026	0,00001	1,5761	0,000	0,471
TU6	NU9	NU8	207,85	0,038	0,00001	3,0967	0,001	0,670
TU13	NU5	NU9	221,56	0,051	0,00001	1,7300	0,001	0,572
TU14	NU4	NU5	396,23	0,063	0,00001	1,7922	0,002	0,487
TU21	NU8	CC12	4,14	0,026	0,00001	0,0551	0,000	0,481
TU22	NU8	CC11	2,89	0,026	0,00001	0,0385	0,000	0,481
TU37	NU15	NU4	76,61	0,051	0,00001	0,9530	0,002	0,743
TU38	NU20	NU15	273,29	0,063	0,00001	1,6448	0,002	0,572
TU39	NU21	NU20	242,41	0,063	0,00001	2,3553	0,002	0,749
TU41	NU2	NU22	371,21	0,075	0,00001	2,9553	0,003	0,755
TU23	NU9	CC17	23,83	0,026	0,00001	0,7256	0,000	0,769
TU24	NU1	CC20	46,20	0,026	0,00001	0,6156	0,000	0,481
TU25	NU22	CC19	156,74	0,038	0,00001	2,0190	0,001	0,617
TU26	NU21	CC18	145,83	0,026	0,00001	2,5839	0,000	0,565
TU27	NU20	CC16	144,63	0,038	0,00001	1,2174	0,001	0,485
TU28	NU15	CC15	136,98	0,026	0,00001	1,9525	0,000	0,499
TU1	NU1	NU3	28,28	0,075	0,00001	0,2290	0,003	0,755
TU2	NU3	NU2	180,00	0,075	0,00001	1,4330	0,003	0,755
TU3	BAL1	NU1	81,90	0,075	0,00001	0,7478	0,004	0,812
TU31	NU22	NU21	291,09	0,075	0,00001	1,5211	0,003	0,596
TU15	NU5	CC1	8,57	0,026	0,00001	0,1992	0,000	0,659
TU7	NU6	CC2	7,03	0,026	0,00001	0,0905	0,000	0,471
						29,5316		

PdC total = 33,9720 mca

Fig.68- Tabla de resultados en la red de distribución





De los valores presentados en la figura 68, se comprueba que los valores se encuentran dentro de los límites permisibles:

- Velocidades entre 0,5 y 1,5 m/s
- Se ha diseñado el sistema tal que  $P > 5$  mca
- Las pérdidas de carga totales son de casi 34 mca, de manera que son admisibles para el sistema propuesto puesto que son inferiores a la diferencial de cotas total.

Las tuberías de PVC serán de 1" (26 mm) de diámetro para los ramales que realizan las conexiones domiciliarias; así como de 1" (26mm), 1.5" (38mm), 2" (51mm), 2.5" (63mm) y 3" (75mm) para los diversos tramos de los caños previstos.

A continuación se expone la modelización de la red generada mediante el programa de cálculo citado por medio de los detalles presentados en la figura 69.

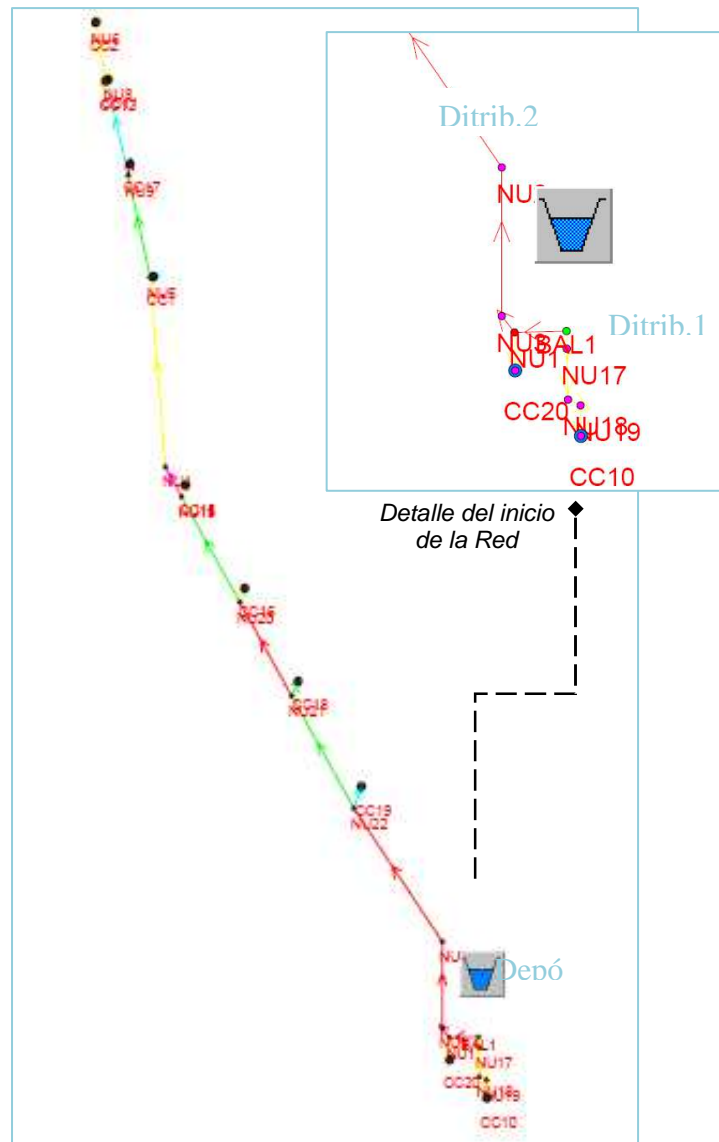


Fig.69- Modelización de la red de distribución por gravedad en Gestar



#### **4- FILTRADO DE AGUA**

A la salida de la línea de impulsión, se propone colocar un hipoclorador con dispensador automático de una solución de hipoclorito de sodio, con abastecimiento de un tanque solución. Debido a la carencia de electrificación en la Comunidad, se descarta la posibilidad de la producción “in situ” de modo que será necesario capacitar un responsable del correcto mantenimiento y dosificación.

Se recomienda la instalación del equipo dentro de la caseta de bombeo, para su debida protección.

Debido a las condiciones socioeconómicas de la población, se recomienda también la realización de una capacitación técnica para el manejo y mantenimiento tanto del sistema de bombeo, como del sistema de desinfección, de manera conjunta.



## 5- CRONOGRAMA

Cronograma de ejecución mensual desglosado por actividades.

Actividad	1	2	3	4
Reunión de información de inicio del proyecto				
Compra y traslado de material de construcción				
Excavado del pozo				
Replanteo de la red de distribución				
Construcción de la caseta de bombeo y cloración				
Tendido de tuberías (caños)				
Instalación de cajas de contadores y conexiones domiciliarias (ramales)				
Instalación de la bomba de extracción y pruebas				
Capacitación para Gestión				
Capacitación Agua y Salud				



## 6- PRESUPUESTO Y LISTADO DE MATERIALES

PRESUPUESTO GLOBAL						
No.	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	MATERIALES	MOE	TOTALES
1	Caseta de bombeo y cloración	unidad	1	861	326	1.331
2	Línea de impulsión	m.l.	175	1.671	133	1.838
3	Red de distribución	m.l.	2935	4.649	280	5.334
4	Conexiones domiciliarias, (sin contador)	unidad	64	3.045	418	3.827
5	Cajas para válvulas de control	unidad	10	1.150	326	1.553
6	Tanque elevado de metal de 50 m <sup>3</sup> torre de 10 m.	unidad	1	23.255	0	23.255
7	Herramientas	global	1	495	0	546
8	Perforación de pozo mecánico a 300 pies y 6" de diámetro	global	1	27.696	82	27.778
9	Equipamiento del Pozo, bomba sumergible y generador	global	1	21.177	544	21.721
10	Equipo dosificador de hipoclorito de sodio	global	1	500	0	500
11	Fletes	global	1	2.176	0	2.176
<b>SUBTOTAL DE COSTES DIRECTOS</b>				86.675	2.110	<b>89.860</b>
PORCENTAJE COSTES INDIRECTOS				7%		
<b>SUB TOTAL COSTES INDIRECTOS</b>				<b>6.290</b>		
	<b>APORTE COMUNAL</b>					
A	Mano de obra no especializada	jornal	30	0	254	7.612
B	Materiales de construcción	global		272	0	272
C	Arrendamiento de bodegas	global		0	0	82
D	Herramienta	global		0	0	185
<b>SUB TOTAL APOORTE COMUNIDADES</b>					0	<b>8.150</b>
	<b>OTROS CONCEPTOS</b>					
A	CAPACITACION Higiene&Salud	Jornadas	24	2/mes/1año		395
<b>TOTAL (euros)</b>						<b>104.695€</b>

Se presenta a continuación el desglose de las partidas presupuestadas anteriormente, con las cotizaciones aportadas por los distribuidores y suministradores locales (por lo que los valores se expresan en quetzales):



<b>1- CASETA DE BOMBEO Y CLORACIÓN</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTE UNITARIO Q.</b>	<b>COSTE TOTAL Q.</b>
Alambre de amarre	libras	30,00	4,50	135,00
Arena de río	m <sup>3</sup>	2,80	148,00	414,40
Block pómez de 0.15 x 0.20 x 0.40	unidad	190,00	3,50	665,00
Candados de 2"	unidad	2,00	50,00	100,00
Cemento portland 4000 PSI	sacos	30,88	57,00	1.760,16
Clavo de 3"	libras	3,00	3,75	11,25
Clavo de 4"	libras	3,00	3,75	11,25
Clavo de 5"	libras	2,00	3,75	7,50
Clavo para lamina	libras	3,00	5,00	15,00
Costanera de 2" x 3"	pietabla	100,00	3,50	350,00
Lamina galvanizada acanalada de 8'	unidad	12,00	56,00	672,00
Piedrin	m <sup>3</sup>	3,00	138,00	414,00
Piedra caliza	m <sup>3</sup>	0,75	200,00	150,00
Puerta de tubos de hierro proceso	unidad	1,00	850,00	850,00
Varillas de hierro corrugado grado 40 No. 3	unidad	55,00	23,08	1.269,23
Varillas de Hierro liso grado 40 No. 2	unidad	18,00	10,00	180,00
Varillas de hierro corrugado grado 40 No. 6	unidad	20,00	85,71	1.714,20
<b>T O T A L</b>			<b>(Q)</b>	<b>8.718,99</b>

<b>2- LINEA DE IMPULSION (175 m.l. )</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTE UNITARIO Q.</b>	<b>COSTE TOTAL Q.</b>
Adaptador Hembra PVC de 3"	unidad	2,00	47,85	95,70
Cemento solvente	galón	1,00	443,81	443,81
Codo HG 45° de 3"	unidad	2,00	38,75	77,50
Codo HG 90° de 3"	unidad	1,00	36,50	36,50
Codo PVC 90° de 3"	unidad	2,00	75,68	151,36
Lija de agua No 60	pliego	2,00	6,25	12,50
Niple Corrido HG de 3" x 0.20 m.	unidad	1,00	50,00	50,00
Niple HG T L de 3" X 0.50 m.	unidad	2,00	80,00	160,00
Niple HG T L de 3" X 0.30 m.	unidad	2,00	60,00	120,00
Niple HG T L de 3" X 1.50 m.	unidad	1,00	215,00	215,00
Niple HG T.L de 3" x 1.30 mts.	unidad	1,00	200,00	200,00
Niple HG T.L de 3" x 2.00 mts.	unidad	1,00	250,00	250,00
Reducidor Bushing HG de 3" x 1/4"	unidad	1,00	80,00	80,00
Tee HG de 3"	unidad	1,00	125,00	125,00
Tubos HG T.L de 3"	unidad	2,00	650,00	1.300,00
Tubos PVC 250 PSI de 3"	unidad	30,00	419,93	12.597,90
Unión universal HG de 3"	unidad	2,00	175,00	350,00
Valvula de Cheque horizontal de 3"	unidad	1,00	650,00	650,00
Wipe	libra	1,50	9,50	14,25
<b>T O T A L</b>			<b>(Q)</b>	<b>16.929,52</b>



<b>3- RED DE DISTRIBUCION (2935 m.l.)</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTE UNITARIO Q.</b>	<b>COSTE TOTAL Q.</b>
Cemento solvente	galon	5,00	443,81	2.219,05
Codo PVC 45° de 1"	unidad	2,00	7,90	15,80
Codo PVC 45° de 1 1/2"	unidad	2,00	13,21	26,42
Codo PVC 90° de 1 1/4"	unidad	3,00	8,31	24,93
Codo PVC 90° de 1 1/2"	unidad	2,00	9,26	18,52
Codo PVC 90° de 2"	unidad	1,00	14,37	14,37
Codo PVC 90° de 2 1/2"	unidad	1,00	70,05	70,05
Lija de agua No.60	pliego	20,00	6,25	125,00
Reductor Bushing PVC 2 1/2" x 1 1/4"	unidad	1,00	31,87	31,87
Reductor Bushing PVC 2 1/2" x 2"	unidad	3,00	31,87	95,61
Reductor Bushing PVC 2" x 1 1/2"	unidad	3,00	10,63	31,89
Reductor Bushing PVC 1 1/2" x 1 1/4"	unidad	6,00	6,31	37,86
Reductor Bushing PVC 1 1/2" x 1"	unidad	2,00	6,31	12,62
Reductor Bushing PVC 1 1/4" x 1"	unidad	5,00	6,16	30,80
Reductor Bushing PVC 2" x 1 1/4"	unidad	5,00	10,63	53,15
Reductor Bushing PVC 3" x 1 1/4"	unidad	1,00	50,24	50,24
Reductor Bushing PVC 3" x 1 1/2"	unidad	1,00	50,24	50,24
Reductor Bushing PVC 3" x 2 1/2"	unidad	2,00	50,24	100,48
Tapón Hembra PVC 1 1/4"	unidad	2,00	5,28	10,56
Tapón Hembra PVC 1"	unidad	1,00	3,71	3,71
Tee PVC 1 1/2"	unidad	4,00	12,18	48,72
Tee PVC 1 1/4"	unidad	4,00	9,94	39,76
Tee PVC 2"	unidad	5,00	16,37	81,85
Tee PVC 2 1/2"	unidad	2,00	64,98	129,96
Tee PVC 3"	unidad	3,00	82,68	248,04
Tubos PVC 160 PSI de 1 1/2"	unidad	113	82,43	9314,59
Tubos PVC 160 PSI de 1 1/4"	unidad	223	63,10	14071,30
Tubos PVC 160 PSI de 1"	unidad	50	46,51	2325,50
Tubos PVC 160 PSI de 2 1/2"	unidad	33	188,24	6211,92
Tubos PVC 160 PSI de 2"	unidad	60	128,44	7706,40
Tubos PVC 160 PSI de 3"	unidad	13	281,13	3654,69
Wipe	libra	25,00	9,50	237,50
<b>TOTAL (Q)</b>				<b>47.093,40</b>



<b>4- CONEXIONES DOMICILIARES, SIN CONTADOR ( 64 )</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTE UNITARIO (Q)</b>	<b>COSTE TOTAL (Q)</b>
Alambre de amarre	libras	22,00	4,50	99,00
Adaptador Macho PVC de 1/2"	unidad	248,00	1,28	317,44
Arena de rio	m <sup>3</sup>	4,91	148,00	726,55
Cemento portland 4000 PSI	sacos	96,33	57,00	5491,07
Cemento solvente	galon	1,37	443,81	610,04
Clavo de 2 1/2"	libras	15,45	2,55	39,41
Codo con rosca PVC de 1/2"	unidad	64,00	2,84	181,76
Codo HG 90° de 1/2"	unidad	64,00	2,50	160,00
Coplas HG de 1/2"	unidad	64,00	2,50	160,00
Llaves de chorro de 1/2"	unidad	64,00	45,00	2880,00
Llaves de paso de 1/2"	unidad	64,00	42,00	2688,00
Madera en tabla (**)	pietabla	131,00	3,50	458,50
Niples HG T.L. 1/2" x 0.30 mts.	unidad	64,00	12,50	800,00
Niples HG T.L. 1/2" x 1.50 mts.	unidad	64,00	40,00	2560,00
Permatex negro, pomo 170 gr	pomo	3,71	34,00	126,11
Varillas de Hierro liso grado 40 N°2	unidad	33,00	10,00	330,00
Piedrin	m <sup>3</sup>	4,91	138,00	677,45
Teflón de 1"	rollos	64,00	6,50	416,00
Tubo PVC 315 PSI de 1/2"	unidad	310,00	29,82	9244,20
Valvula de globo de 1/2"	unidad	64,00	45,00	2880,00
<b>T O T A L (Q)</b>				<b>30.845,52</b>

- (\*\*) Se construirán 5 juegos de moldes de cajas y bases para construir las 64 conexiones de todo el proyecto , y para cada juego de moldes se necesitan 36 pies de madera , por lo tanto serán 180 pies en total.

<b>5- CAJAS PARA VALVULAS DE CONTROL (10)</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTE UNITARIO (Q)</b>	<b>COSTE TOTAL (Q)</b>
Adaptador Macho PVC de 1 1/2"	unidad	5,00	6,70	33,50
Adaptador Macho PVC de 1 1/4"	unidad	7,00	5,06	35,42
Adaptador Macho PVC de 2"	unidad	5,00	9,84	49,20
Adaptador Macho PVC de 3"	unidad	5,00	37,11	185,55
Alambre de amarre	libras	6,50	4,50	29,25
Arena de río	m <sup>3</sup>	1,50	138,00	207,00
Candados de 2"	unidad	10,00	50,00	500,00
Cemento portland 4000 PSI	sacos	25,00	57,00	1.425,00
Cemento solvente	galon	0,30	443,81	133,14
Clavo de 3"	libras	20,00	3,50	70,00
Hierro corrugado grado 40 No. 3	unidad	12,50	23,08	288,50
Hierro corrugado grado 40 No. 4	unidad	2,00	40,00	80,00
Hierro liso grado 40 No. 2	unidad	6,50	10,00	65,00



Madera en parales	pietabla	110,00	3,50	385,00
Madera en tabla	pietabla	225,00	3,50	787,50
Piedra caliza	m <sup>3</sup>	11,70	200,00	2.340,00
Piedrín	m <sup>3</sup>	3,00	138,00	414,00
Teflón de 1"	rollo	20,00	6,00	120,00
Válvula de compuerta de 1 1/2" Br. E.R	unidad	3,00	175,00	525,00
Válvula de compuerta de 1 1/4" Br. E.R	unidad	4,00	150,00	600,00
Válvula de compuerta de 2" Br. E.R	unidad	3,00	275,00	825,00
Válvula de compuerta de 3" Br. E.R	unidad	3,00	850,00	2.550,00
<b>T O T A L (Q)</b>				<b>11.648,06</b>

<b>7- PRESUPUESTO DE HERRAMIENTAS</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTE UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
Piocha con cabo	unidad	8	40,00	320,00
Pala punta redonda con cabo	unidad	8	36,00	288,00
Pala punta cuadrada con cabo	unidad	8	36,00	288,00
Azadón tipo mediano con cabo	unidad	8	40,00	320,00
Barretas de 6 pie	unidad	3	125,00	375,00
Llave de tubo de 36"	unidad	2	950,00	1.900,00
Llave de tubo de 18"	unidad	2	175,00	350,00
Llave de tubo de 12"	unidad	2	80,00	160,00
Llave ajustable (cangrejo) No. 10	unidad	1	46,00	46,00
Serrucho Profesional de 22"	unidad	2	45,00	90,00
Aro para sierra acero plata	unidad	3	35,00	105,00
Sierras acero plata	unidad	30	6,00	180,00
Tenaza No. 6	unidad	3	15,00	45,00
Almadana 10 lbs.	unidad	4	64,00	256,00
Cubeta concretera	unidad	12	7,50	90,00
Martillo de carpintero 29 mm	unidad	2	35,00	70,00
Cuchara para albañilería, tipo mediana	unidad	2	18,00	36,00
Broca para madera de 1/2"	unidad	2	8,00	16,00
Trepano	unidad	1	80,00	80,00
<b>T O T A L (Q)</b>				<b>5.015,00</b>

Dado que ya se han expuesto todos los cálculos y decisiones para el correcto dimensionamiento de la primera alternativa propuse, se expone a continuación el diseño de cada una de los subsistemas fundamentales para la segunda opción de implantación tecnológica propuesta para el sistema de abastecimiento de agua en la Comunidad de estudio.

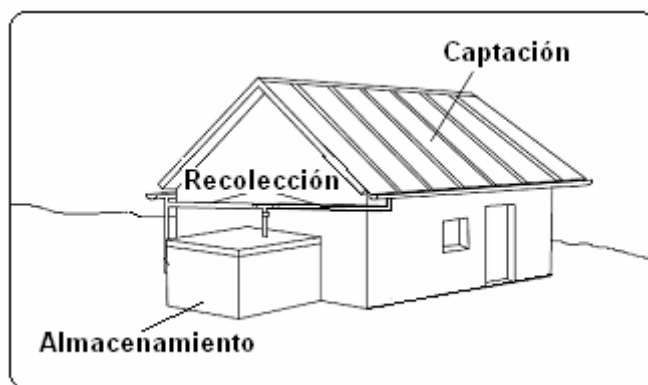




## **ALTERNATIVA 2: SCAPT**

La segunda solución propuesta consiste en un Sistema No Convencional, en el que se aprovechará las altas precipitaciones de la zona en la época de lluvias para compensar el déficit de los meses de sequía. Así pues, la propuesta consiste en captar el agua mediante el tejado de las casas y almacenarlo en un tanque unifamiliar para su posterior consumo.

Como ya se ha comentado en la revisión general de las tecnologías de abastecimiento no convencionales, el sistema de captación de agua de pluvial en techos (SCAPT) está compuesto por tres elementos principales: captación; recolección y conducción; y almacenamiento.



*Fig.70- Esquema de un Sistema pluvial*

En realidad, este concepto es ya utilizado por los habitantes de la Comunidad, para recolectar pequeñas cantidades de agua en calderos de no más de 50 litros, a veces desde los techos de lámina y a veces desde los techos tradicionales de guano (de aquellas construcciones en las que no se quema leña en su interior, con lo que evitan sabores aunque no así cierto color). A continuación se insertan algunas imágenes en la figura 71 sobre esta costumbre de recolección tradicional.



*Fig.71- Ejemplos de recolección puntual de aguas pluviales de techo tradicional (izq.) y de lámina (dcha., Sepur 2007.*



## **1- CAPTACIÓN DE AGUA**

Se aprovechará los tejados familiares para la captación pluvial de agua ya que todas las casas de la población disponen de un área de lámina suficiente para cubrir las necesidades familiares, con lo cual sólo será necesario el montaje de las canalizaciones para conducir el agua hasta el tanque de almacenamiento.



*Fig.72- Construcciones familiares con techos tradicionales de guano (fondo) y lámina (frente), Sepur 2007*

El dimensionado del área de tejado mínimo requerido para satisfacer la dotación propuesta, se realiza más adelante junto al dimensionado del tanque de almacenamiento.

No obstante, señalar, que dicha área se refiere a la proyección del tejado sobre la horizontal, y no a las dimensiones constructivas de lámina utilizada, de manera a medida que aumenta la inclinación de las aguas entonces la proyección o área útil de captación pluvial disminuirá.

## **2- DISTRIBUCIÓN DE AGUA**

El agua captado en los techos de lámina, será conducido mediante canaletas de zinc de 75 mm de diámetro (3") que se fijarán a los bordes más bajos del techo mediante alambres y clavos, de manera que la canaleta quede lo más próxima al mismo pero respetando una pendiente de un 1% en el recorrido aguas abajo para favorecer su traslado. En caso de que fuese necesario unir varias piezas de canal, habrá que tener especial cuidado en esta unión para evitar represamientos.

A continuación se tenderá un tramo de tubería vertical de unos 2,5 m de longitud y 75mm de diámetro (3"), que posteriormente discurrirá enterrada a unos 50 cm hasta alcanzar al depósito familiar.

Además se instalarán mallas en la unión con la tubería de descarga, para que retenga los posibles materiales u objetos que pudieran llegar a obturar la conducción al ejemplo de la imagen en la figura 73.



*Fig. 73- Detalle de malla en la conexión de canaletas y tubería, Xela 2007*

### **3- ALMACENAMIENTO**

Se propone realizar un tanque de almacenamiento excavado junto a la edificación de techo laminado, de manera que la bomba de extracción anteriormente expuesta se coloque sobre la tapa del mismo, por lo que será importante diseñar el drenaje posterior del agua que pueda ser derramada en la extracción. En este sentido, la dirección de extracción de la bomba se elegirá igual a la de escurrimiento del agua y se drenará esa zona mediante canales de terracería.

Se propone la construcción de un tanque de ferrocemento, pues son los materiales locales más usuales (cemento, varillas, malla, arena, pedrín, tablas...), que será de forma circular para optimizar la necesidad de materiales. La mano de obra de la excavación será aportada por las familias beneficiarias.

### **CALCULOS**

A partir de los datos pluviométricos de la estación meteorológica de Flores, se realizan los cálculos desarrollados de la ecuación (26) a la (30).

Población	7	hab/familia
Escorrentía	0,9	(techo de lámina)
Dotación	80	l/hab/día



	ec. (25)	ec. (27)		ec. (29)		ec. (30)
MES	Precipitación (mm)	Abastecimiento (m <sup>3</sup> )		Demanda (m <sup>3</sup> )		Deficit (m <sup>3</sup> )
		parcial	acumulado	parcial	acumulado	
enero	72,00	10,74	122,97	17,36	85,68	37,29
feb	28,00	4,18	127,15	15,68	101,36	25,79
mar	17,40	2,60	129,75	17,36	118,72	11,03
abril	90,00	13,42	143,17	16,80	135,52	7,65
Mayo	98,00	14,62	157,79	17,36	152,88	4,91
junio	150,00	22,37	180,16	16,80	169,68	10,48
julio	214,00	31,92	212,08	17,36	187,04	25,04
agosto	168,00	25,06	237,13	17,36	204,40	32,73
setiembre	255,00	38,03	38,03	16,80	16,80	21,23
octubre	232,50	34,68	72,71	17,36	34,16	38,55
noviembre	155,00	23,12	95,83	16,80	50,96	44,87
diciembre	110,00	16,41	112,24	17,36	68,32	43,92

Almacenamiento (max)	44,87
Reserva (min)	4,91
Almacenamiento NETO (max-min)	<b>39,96</b>

*Fig.74- Cálculos de sistema de almacenamiento pluvial*

## RESULTADOS:

Área techo necesario mínimo:	<b>157 m<sup>2</sup></b>
Volumen de almacenamiento:	<b>40 m<sup>3</sup></b>

## COMENTARIOS:

- El mes de mayor precipitación es Septiembre, con lo cual se utiliza de base para los cálculos acumulativos.
- Se realiza el dimensionado para un volumen de reserva del 10% del total.
- El volumen de almacenamiento corresponde a la mayor diferencia acumulativa con lo cual  $V = 40 \text{ m}^3$ . Esto significa que si tomamos una profundidad de 5 m, se necesitará un diámetro de 3,2 m para alcanzar ese volumen.
- El área de captación mínima supone construcciones de  $100\text{m}^2$  de proyección.

Para evaluar la adecuada cobertura de agua que este diseño ofrece, se realiza un par de cálculos más entre las diferencias acumulativas que se exponen en la figura 75. En ella, se observa que con este diseño se consigue que el tanque no se vacíe a lo largo del año base pluvial y que el mes recomendado para las tareas de mantenimiento será en torno al mes de Mayo pues es en el que menor cantidad de agua queda en el tanque.



MES	Ap - Dp	Llenado
SEP	21,96	40,00
OCT	17,98	40,00
NOV	6,76	40,00
DIC	-0,64	39,36
ENE	-6,42	32,94
FEB	-11,42	21,52
MAR	-14,72	6,80
ABR	-3,12	3,68
MAY	-2,46	1,22
JUN	6,00	7,22
JUL	15,17	22,39
AGO	8,18	30,56

Fig.75- Resumen de cálculos de llenado del tanque

Como se ha comentado, el área de captación requerida para este diseño supone una superficie de cien metros cuadrados de techo laminado, sin embargo las observaciones en el terreno de la Comunidad señalan que pocas familias pueden ofrecer esta área lámina.

A continuación se presentan los datos registrados de algunas familias cuyas mujeres pertenecen al Comité de Mujeres Oxilajú Aj (figura 76), en los que se pretende reflejar la capacidad de la Comunidad para alcanzar este requisito de área mínima de tejado propuesto.

	Nombre representante familiar	Núcleo Familiar			Área de lámina disponible
		Adultos	Niños/as (edades)	Total	
1	ROMELIA Chub Maquin	2	5 (17,15,9,7,6)	7	100
2	MARGARITA Tiul Rax	2	3 (16,12,6)	5	50
3	MACARIA Maaz Choj	4	3 (11,5,3)	7	106
4	NATIVIDAD Tiul Pop	5	5 (17,13,12,9,4)	10	72
5	CATARINA Choc Tiul	2	6 (17,14,12,8,5,3)	8	67
6	ELENA Maaz Choj	3	- -	3	64
7	LUISA Pop Caal	4	5 (15,13,10,8,1)	9	82
8	CANDELARIA Rax	6	4 (16,14,13,12)	10	50
9	PETRONA Maaz Choj	2	4 (19,17,12,7)	6	49
10	CONCEPCIÓN Maquin Hóo	2	3 (4,3,1)	5	64
11	ROSARIO Ché Tzi	2	4 (12,10,9,7)	6	51

Fig.76- Datos de familias en Sepur (2007)

A través de estos datos, y de la observación en la estadía de la Comunidad, podemos afirmar que no todas las familias alcanzan las áreas mínimas de techo laminado implantadas. Por ello, se realizan a continuación los cálculos del almacenamiento que sería necesario si se fija el área de techo mínima registrada (50 m<sup>2</sup>) para captación del agua de lluvia.



Población	7	hab/familia
Escorrentía	0,9	(techo de lámina)
Área de techo	50	m <sup>2</sup>

	ec. (25)	ec. (27)	ec. (29)			
MES	Precipitación (mm)	Abastecimiento (m <sup>3</sup> )		Demanda (m <sup>3</sup> )		Déficit (m <sup>3</sup> )
		Parcial	Acumulado	Parcial	Acumulado	
enero	72,00	3,42	39,16	5,43	26,78	12,39
feb	28,00	1,33	40,49	4,90	31,68	8,82
mar	17,40	0,83	41,32	5,43	37,10	4,22
abril	90,00	4,28	45,60	5,25	42,35	3,25
Mayo	98,00	4,66	50,25	5,43	47,78	2,48
junio	150,00	7,13	57,38	5,25	53,03	4,35
julio	214,00	10,17	67,54	5,43	58,45	9,09
agosto	168,00	7,98	75,52	5,43	63,88	11,65
setiembre	255,00	12,11	12,11	5,25	5,25	6,86
octubre	232,50	11,04	23,16	5,43	10,68	12,48
noviembre	155,00	7,36	30,52	5,25	15,93	14,59
diciembre	110,00	5,23	35,74	5,43	21,35	14,39

Almacenamiento (max)	14,59
reserva (min)	2,48
Almacenamiento NETO (max-min)	<b>12,12</b>

*Fig.77- Tabla de datos con almacenamiento mínimo en Sepur*

## RESULTADOS:

Dotación:	<b>25 l/h/d</b>
Volumen de almacenamiento:	<b>12 m<sup>3</sup></b>

En el caso de que las familias no pudieran asumir la ampliación del área útil, y este coste no fuera incluido en los presupuestos generales del proyecto, se obtiene que se podría cubrir una demanda de 25 l/hab/d, siendo suficiente la construcción de un tanque de al menos 12m<sup>3</sup>. De manera que se propondría la construcción de un tanque excavado de 3,5 m de profundidad y un diámetro de 2,3 m.

## CONSTRUCCIÓN DEL ALMACENAMIENTO

A continuación se explican los pasos necesarios para la construcción de este tanque de ferrocemento excavado, para lo que será necesario el empleo de 1 albañil (que dirigirá todas las construcciones) y 2 ayudantes (que serán aprotados por la familia beneficiaria). También se expone el listado de actividades necesarias y el tiempo estimado para su ejecución:



### **1. Brocal y excavado**

- Una vez recibidos los materiales y preparadas las herramientas, se empieza por limpiar el lugar en el que se va a realizar la excavación manual del reservorio. Se señalará el área requerida, mediante la colocación de un compás sencillo de clavo y cuerda con la que se marcará la circunferencia del diámetro requerido (se marcará algo más que en los cálculos, en este caso se propone un valor de 3,50m).
- Al llegar a los 90 cm de excavación, se realizará el brocal que reforzará la estructura interna del almacenamiento. Este brocal, consiste en una pared de ladrillos que se fijarán con una mezcla 2:1 de arena y cemento.
- Con dos personas, se tardará 1 día.

### **2. Excavado**

- A continuación de excava hasta la profundidad de diseño (en este caso 4m) verificando mediante un plomo que se mantiene la pared correctamente vertical.
- Con dos personas, se tardará unos 4 días.

### **3. Piso**

- Terminado el hoyo, se cortan varillas de que formarán la parrilla que recubrirá toda la pared. Se colocarán 32 varillas separadas unos 30 cm entre cada una, que serán sujetadas a las paredes mediante unos ganchos de unos 20 cm de largo, también de varilla
- Colocadas las varillas longitudinalmente a lo largo de todo el perímetro, se funde el piso con arena y cemento (2:1).
- Con dos personas, se tardará 1 día.

### **4. Pared**

- El siguiente paso es la colocación del mallazo alrededor de la pared de tierra, amarrando con alambre a las varillas verticales de manera que no quede más de un centímetro entre la malla y la pared de tierra.
- Para ello, se propone colocar cuatro varillas circulares quidistantes a lo largo de la vertical excavada.
- Ante la pregunta de si instalar unas escaleras mediante varillas que se enganchen en la pared, se recomienda el uso posterior de una escalera de mano para realizar las tareas de limpieza y mantenimiento, porque la inclusión de varillas en la pared han demostrado ser fuente de fugas de agua al terreno.
- Con dos personas, se tardará 1 día.

### **5. Repello**

- Es la parte fundamental de la construcción, y de la calidad de su ejecución dependerá la estanqueidad del depósito excavado.
- Deberá comenzarse desde abajo mediante capas, y será supervisada por el técnico de obra.





- La superficie habrá que dejarla rústica para que el amarre con la última capa de alisado, que se realizará con cemento puro, sea óptima.
- Con dos personas y un albañil, se tardará 1 día.

## **6. Tapadera**

- En primer lugar habrá de construirse la formaleta con renglones y tablas, en la que fraguará la tapadera. Así pues se corta también las varillas que conformen la parrilla, dejando una abertura de 0,5 x 0,5 m para la tapadera de acceso al interior del reservorio.
- Además, habrá que dejar libres los orificios por los que pasarán los tubos de la bomba de lazo (unos de 1" y otro de unas 3").
- Se situará la bomba de mecate cercana a la tapadera, para facilitar las futuras tareas de reparación y mantenimiento.
- Para la fundición, se recomienda colocar una fila de ladrillos alrededor del brocal con el fin de sostener el cemento de la tapadera.
- Para evitar que entre suciedad por la compuerta de acceso, se realizará una pestaña de cemento alrededor de la misma sobre la que luego se colocará la tapadera pequeña.
- Antes de la fundición de la tapadera, se colocarán las varillas en las que posteriormente se sujetarán los burritos de la bomba manual.
- Después de la fundición, se deja secar la tapadera unos 6 días.

Se expone a continuación el orden de realización de tareas, y el tiempo de ejecución estimado necesario para cada una de ellas, mediante el cronograma presentado en la figura 78.

<b>Día</b>	<b>Actividades</b>
1	Limpiar sitio elegido, trazado del perímetro y excavado hasta 0,8 m.
2	Levantar pared de ladrillos para el brocal
3 a 6	Continuar excavado del hoyo
7	Formar parrilla para el piso y colocar varillas
8	Fundir la torta del piso
9	Colocar la malla sobre las varillas
10 a 13	Repellar sobre la malla
14	Alisado
15	Hacer formaleta para la tapa, cortar varillas y formar parrilla para la tapadera
16	Fundir tapadera
17	Repellar el depósito por fuera.
	Dejar reposar para que fragüe (durante 6 días).
18 a 23	Dejar reposar.
24	Quitar formaleta
25	Poner canales y tubos para captar el agua pluvial
26	Instalar la bomba de extracción

*Fig.78- Cronograma de construcción del almacenamiento*





## 4- EXTRACCIÓN DE AGUA

Una vez almacenada el agua de manera segura, procedemos a la exposición de los aspectos claves para el diseño e instalación de la bomba de extracción manual.

Las características iniciales para su selección a tener en cuenta son:

- Serán mujeres y niños los encargados de su extracción, por lo que el diseño a de ser cómodo para potencias desarrollables de unos 50 W
- El agua se encuentra a una profundidad máxima de extracción de 4m
- La elevación no será superior a los 6 m
- Los materiales y repuestos han de ser económicos y fácilmente accesibles, ya que las difíciles condiciones de acceso ya comentadas, a núcleos urbanos que oferten materiales de repuesto, será una de las cuestiones prioritarias a solventar

Por otro lado, dada la altura de bombeo necesaria, podemos extraer de la tabla en la página 45 los siguientes datos para comparar las tecnologías que son habitualmente implantadas en Guatemala:

	Altura (m) de bombeo	Potencia (W) ergonómica	Rendimiento	Caudal típico (l/min)
De Pistón (palanca)	7	50	0,45	19,66
De Diafragma (pedal)	7	75	0,45	29,49
De Cubo-Cuerda	10	75	-	15,00
De Mecate	5	75	-	70,00
	10			41,00
	< 10*	50*	-	35,00*

En primer lugar si se adapta el esfuerzo requerido en la bomba de mecate a los 50 W deseados, a través de los datos de [www.practicafoundation.nl](http://www.practicafoundation.nl) (que se señalan con un asterisco en la tabla), se obtiene que el caudal típico obtenido es de 35 l/min. De manera que se mantienen mayores caudales mediante la bomba de Mecate en comparación a cualquiera de las otras, como la Indian Mark (de pistón).

Además, ya se ha comentado dentro del marco tecnológico de bombas manuales, la reducción de costes que supone la instalación de la bomba de Mecate en comparación con las de Pistón, siendo inferiores tanto el coste de fabricación e instalación (750 dólares frente a 50-150 dólares) como los costes asociados al mantenimiento (sólo requiere 10 dólares al año).

Con estas ventajas y dado que en el trabajo previo de campo se localizaron varios fabricantes locales de bombas de mecate, que cumplen los requisitos anteriormente expuestos, se propone este tipo de bomba manual como solución tecnológica y apropiada. Así podemos asegurar que los repuestos serán fácilmente obtenibles y a



un precio local, además de asegurar que problemas en el diseño o instalación de la bomba podrán ser fácil de reclamar y subsanar, sin elevados costes añadidos.



*Fig.79- Visita a talleres de moldes de cemento (izq.) y taller de chapa(dcha., Xela 2007*



*Fig.80- Detalle del pistón en la cuerda y pieza metálica de la manivela- Xela, 2007*

Con el fin de que la solución propuesta sea además sostenible, será necesario programar una capacitación sobre la instalación y el posterior mantenimiento de la misma. Esta capacitación de instalación permitirá además de la transferencia tecnológica, una reducción de costes en la ejecución de la obra ya que el Instalador autorizado realizará sólo unas demostraciones y cada familia realizará su propia instalación.

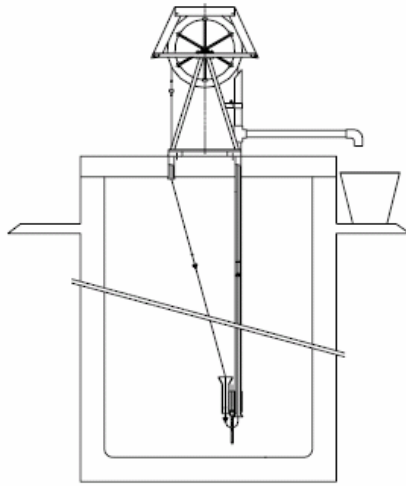


*Fig.81- Detalle de la más frecuente reparación: cuerda rota - Xela, 2007*



Características del diseño de la bomba de mecate:

- Manivela manufacturada en talleres locales, con una sola palanca para el giro (ver talleres en figura 79).
- Soportes de la bomba, fabricados en cemento sobre la tapadera del depósito (ver talleres en figura 79)
- Se instalarán unas tapas de protección frente a suciedad en la parte superior del sistema (ver esquema izquierdo en figura 82).
- Pistones en forma de campana, de plástico flexible en la periferia para disminuir el rozamiento en la subida, y rígido en el centro.
- La holgura entre el diámetro exterior de los pistones, y el diámetro interior de la tubería de subida será entre 0,5 y 1mm
- Se colocará un pistón por cada metro de cuerda, mediante los nudos anterior y posterior adecuados.



*Fig.82- Esquema de bomba de mecate propuesto (izq.) y  
bomba de mecate en funcionamiento Xela, Guatemala 2007(dcha.)*



## **5- FILTRADO DE AGUA**

En el caso del SCAPT, será necesario un tratamiento de remoción de turbiedad (con el que garantizar los 5 NTU recomendado por la OMS), y un posterior tratamiento de desinfección. Un filtrado de 50NTU para el agua de lluvia recogido, será suficiente.

Se propone el uso de un filtro de vela para cada obtener el agua necesaria para consumo en cada unidad familiar, eliminando así la materia gruesa o fina suspendida de manera que en el caso general es necesaria una posterior desinfección del agua mediante el tratamiento de hervido del agua (5-15 minutos de ebullición, dejar enfriar tapado y tomar antes de 24h).

Sin embargo, se elige el modelo Q-Beta cuyos elementos filtrantes consisten en un microfiltro de cerámica impregnada con plata, que permite inhibir el crecimiento de bacterias, de manera que se convierten en elementos auto-esterilizables y elimina la necesidad de hervirlos.

Este modelo ya está siendo implantado en algunos proyectos del departamento de Izabal y presenta buenas condiciones de acceso y recambios posteriores. Su manejo es sencillo, filtrando 5 galones de agua en 12h de funcionamiento.



*Fig.83- Esquema de Q-Beta*

Los elementos de grado Super Sterasyl proporcionan los siguientes beneficios:

- Filtración absoluta hasta 0.9 micras
- Para partículas de 0.5 a 0.8 micras, eficiencia de filtrado > 99.99%
- Reducción de turbidez en un eficiencia mayor a 99.7%

Además están certificados para remover los siguientes parásitos y bacterias patógenas: Eschericia Coli > 99.99%; Klebsiella > 99.99%; Cholera > 99.99%; Shigella > 99.99%; Salmonella > 99.99%; Gusano de Guinea 100%; Giardia Lamblia 100%; Cryptosporidium 100%.

Se adjunta el catálogo comercial en los Anexos con instrucciones de uso, montaje y operación.



## **6- CRONOGRAMA**

Cronograma de ejecución mensual desglosado por actividades.

<b>Actividad</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Reunión de información de inicio del proyecto			
Excavado del hoyo y construcción del brocal			
Compra de material de construcción, traslado y entrega			
Construcción de pared y repello			
Elaboración de la tapadera			
Instalación de la bomba de lazo y capacitación			
Capacitación Higiene y Salud			



## 7- PRESUPUESTO Y LISTADO DE MATERIALES

### 1 TANQUE ALMACENAMIENTO MATERIALES CONSTRUCCIÓN (incluye transporte)

Descripción	Cantidad		Coste unitario (Q)	Coste total (por cisterna)
Cemento	30	quintales	57,00	1.710,00
Arena de río	6	metros	148,00	888,00
Piedrín	1	metro	138,00	138,00
Ladrillo	225	unidades	1,06	238,50
Hierro de 1/4	48	varillas	8,33	399,84
Hierro de 3/8	2	varillas	20,76	41,52
Hierro de 1/2	11	varillas	38,57	424,27
Malla de 1'' x 2m	17,5	yardas	7,20	126,00
Alambre de amarre	5	libra	3,85	19,25
Reglones de 12 pies	8	unidades	28,00	224,00
Reglones de 9 pies	4	unidades	20,55	82,20
Tablas de 9 pies	8	unidades	22,40	179,20
Clavos de 2''	1	libra	3,75	3,75
Clavos de 4''	1	libra	3,75	3,75
Canales de zinc	43	pieza 3m	25,00	97,73
Tubo drenaje de 3''	14	pieza 6m	85,00	108,18
T de 3''	11	pieza	22,00	22,00
Codos drenaje de 3''	22	pieza	22,00	44,00
			QUETZALES	4.750,19
			EUROS	508,51

### APORTE DE BENEFICIARIAS (todas implementarán tejado de chapa necesario)

Concepto	Cantidad		Coste jornal (Q)	Coste total (por cisterna)
Albañil	20	jornales	75	1.500
Mano de obra no cualificada	20	jornales	45	900
Excavada	10	jornales	40	400
Predio	2,5	metros	480	1.200
Estancia capacitador bombas	2	días	75	150
			QUETZALES	4.000
			EUROS	428,20



### OTROS CONCEPTOS

Concepto	Cantidad		Coste jornal (Q)	Coste total (por cisterna)
Bomba de Lazo	1	unidad	520	520
Capacitación para instalación	1	jornal	75	75
Mano de obra especializada (MOE)	20	jornales	75	1.500
<i>AUTOBUS (Fuente del Norte)</i>				
- Transporte de Bombas	1	ida	-	150
- Pasaje capacitador	2	i/v	-	450
CAPACITACION Higiene&Salud	24 jornadas	(2/mes/1año)	-	4.000
FILTROS	1	por familia	500	500
			QUETZALES	<b>2.695,00</b>
			EUROS	<b>288,50</b>

En resumen, el coste del diseño por cada familia asciende a un total de:

	sin aportes	con aportes*
<b>TOTAL por familia</b>	11.445,19 Q	7.445,19 Q
	<b>1.230 €</b>	<b>735 €</b>

*\*El criterio de participación activa de la Comunidad en la construcción del Sistema, es fuente de reducción de costes generales.*

Dado que la población consta de un total de 64 familias, tenemos que el coste de la alternativa unifamiliar planteada asciende a un total de:

	sin aportes	con aportes
<b>TOTAL del Proyecto</b>	732.492,16 Q	476.492,16 Q
	<b>72.309 €</b>	<b>47.038 €</b>



### 3- COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS

Una vez diseñados todos los elementos del sistema de abastecimiento de agua para las dos alternativas propuestas, en este apartado se pasa a realizar una evaluación de estos resultados en base a los criterios fundamentales que son condición necesaria para que un sistema de abastecimiento de agua sea apropiado al contexto en el que va a implantarse, así como sostenible a lo largo de la vida útil de sus componentes.

Para ello, se realiza a continuación, un análisis del grado de consecución de los objetivos expuestos en el apartado desarrollado sobre las necesidades básicas que debe satisfacer un sistema de abastecimiento de agua, y que se denominó como los criterios de las “seis C” (*Cobertura - Continuidad - Calidad - Coste - Cantidad - Cultura hídrica*) y a las que añadiremos el concepto asociado a la *Sostenibilidad* del proyecto.

Respecto a la alternativa propuesta mediante la red de distribución por gravedad, que aprovecha el agua subterránea mediante la perforación de un pozo profundo, se han obtenido las soluciones que se presentan en la figura 84.

	ALTERNATIVA 1	Resultados
<b>CAPTACIÓN</b>	Pozo profundo	90 m, 6”
<b>EXTRACCIÓN</b>	Sistema de moto-bomba	15 HP
<b>ALMACENAMIENTO</b>	Tanque metálico elevado	50 m <sup>3</sup> y 10 m elevación (7m altura, 3m diámetro)
<b>DISTRIBUCIÓN</b>	Red distribuida por gravedad	3100 m.l.
<b>FILTRADO</b>	Tambo dosificador de Cloro	-
<b>PRESUPUESTO</b>		104.300 €

*Fig.84- Resumen de resultados para la Alternativa 1*

Respecto a la alternativa que aprovecha la gran cantidad de agua de lluvia que se registra en la zona de implantación para compensar la escasez en los meses de precipitaciones insuficientes, se han obtenidos los resultados de cada uno de los subsistemas necesarios que se recogen en el cuadro resumen de la figura 85.





	ALTERNATIVA 2	Resultados
<b>CAPTACIÓN</b>	Área útil de techo (lámina)	160 m <sup>2</sup>
<b>DISTRIBUCIÓN</b>	Canales y tubería enterrada	Varios diámetros
<b>ALMACENAMIENTO</b>	Ferrocemento, excavado	40 m <sup>3</sup> (5m profundidad, 3.2m diámetro)
<b>EXTRACCIÓN</b>	Bomba manual de mecate	35 l/min
<b>FILTRADO</b>	Filtro de velas cerámicas	-
<b>PRESUPUESTO</b>		47.038 €

*Fig.85- Resumen de resultados para la Alternativa 2*

En primer lugar, ambas soluciones propuestas garantizan una **cobertura** adecuada pues uno de los puntos de partida de los diseños es contemplar todas y cada una de las casas de la población. En el caso de la alternativa mediante una red de distribución, los elementos además han sido diseñados para soportar futuras ampliaciones de manera que toda la población futura (esos cerca de mil habitantes que se estima habitarán la Comunidad a los veinte años de instalación del sistema) puedan disfrutar de las mismas conexiones seguras de agua. Sin embargo, esta proyección a futuro queda sesgada en el caso del sistema pluvial, ya que sólo se tiene en cuenta la implantación de sistemas en las actuales familias de la Comunidad.

Si se evalúa la **cantidad** de agua para satisfacer la demanda de la población, ambas soluciones tecnológicas han sido diseñadas para garantizar un consumo diario de 80 litros por habitante, de manera que no sólo se garantice el consumo mínimo de agua potable para la población de la Comunidad en el horizonte de los 20 años de diseño, sino que además se suministra una cantidad de agua adecuada para favorecer unas costumbres higiénicas apropiadas. Así pues, esta intervención podrá favorecer positivamente la mejora de la Salud de la población y disminuir los casos de enfermedades contagiadas por la gestión inadecuada de los medios hídricos (como la diarrea, dengue...etc), que en este caso quedan agravadas por las grandes distancias hasta los centros médicos cercanos. Será pues necesario que la intervención tecnológica vaya acompañada de una intervención social que se materialice en capacitaciones a la Comunidad sobre la relación entre los hábitos y adecuada gestión del agua, y las enfermedades que pueden evitarse si se utiliza adecuadamente. Por ello, estas capacitaciones o talleres de formación han sido tenidos en cuenta tanto en los horizontes de realización del proyecto como en la partida presupuestaria



consecuente, y forman parte del análisis de lo que se denomina **cultura hídrica**, y que se comenta más adelante.

Desde el punto de vista de asegurar la **continuidad** del servicio para la primera alternativa propuesta, se tiene en cuenta un cuidadoso diseño del sistema de distribución realizando los mínimos enganches a la tubería principal de distribución o ramales y cuidando que todas las cajas de válvulas de conexión/desconexión para cada conexión domiciliar se sitúe correctamente, de manera que ante necesidad de aislamiento de la red por reparaciones, se facilite su acceso y se evite que estas construcciones molesten en las tareas cotidianas de los habitantes. Este punto requiere que se conozcan bien los hábitos, costumbres y necesidades de la población objetivo, con lo cual, si la estadía en la Comunidad para su estudio resultase inviable, las aportaciones y estudios previos de organismos locales serán de gran ayuda.

Respecto a la alternativa pluvial propuesta, la continuidad del servicio es difícilmente garantizable ya que depende directamente de las precipitaciones tanto en cantidad como en espacio temporal entre precipitaciones. En este sentido, un buen diseño del almacenamiento y la obtención de unos registros pluviales como base de cálculo de al menos diez años de estadísticas registradas en estaciones meteorológicas consistentes con la ubicación, facilita la generación ajustada de un “año pluvial base” con el que realizar los dimensionamientos adecuados.

Por otro lado, cabe también señalar en este punto de evaluación de continuidad, el diseño del tanque de almacenamiento para ambas alternativas, tiene en cuenta la posibilidad de que no pudiera realizarse la recarga del mismo; bien por motivos de mantenimiento, bien por motivos de reparación. Así, en el caso de la red de distribución comunitaria se puede asegurar un abastecimiento de la Comunidad durante al menos un día de consumo, tiempo en el que sería necesario llevar a cabo las reparaciones oportunas para el restablecimiento de la distribución. En el caso del diseño para la recogida de agua pluvial, se ha demostrado que el tanque de almacenamiento es capaz de dar suministro de agua a una familia promedio durante todos los meses de sequía estimados.

Respecto al tema de la **sostenibilidad** del sistema, un punto clave a considerar serán las futuras averías en el sistema, que habrán de ser solucionadas mediante operaciones de reparación y mantenimiento. Para ello, resulta de vital importancia que los repuestos sean fáciles de conseguir en el mercado local y que su precio sea asequible, es por ello que de hecho los diseños propuestos están dentro de los parámetros VLOM -Village Level Operation and Maintenance-, y es por ello también que dentro el cronograma de implantación propuesto en cada una de las alternativas, se han incluido las sesiones de capacitación necesarias para el conocimiento de la tecnología propuesta, con el fin de que la Comunidad adquiriera autonomía para el arreglo y reparación de las propias averías.

Dichas sesiones de capacitación se incluyen en las propuestas como pilares fundamentales para la adquisición de una verdadera **cultura hídrica**, y en ellas se desarrollarán tanto los conceptos del uso racional del recuso, como el conocimiento de la relación entre Agua y Salud y el conocimiento práctico de la tecnología para un mejor mantenimiento.



En este punto, encontramos algunas diferencias en cuanto a la gestión de las soluciones propuestas se refiere, pues en el caso de la red domiciliaria será recomendable la elección de un Comité de Agua que se encargue tanto de las operaciones de mantenimiento como del control económico del sistema (pago de cuotas al mes por la conexión, con los que generar una caja para reparaciones y compra de combustible). Sin embargo, en el caso de la alternativa pluvial es cada familia la encargada de las reparaciones y del mantenimiento de su sistema individual, convirtiéndose con ello en un punto conflictivo a resolver pues podrían producirse suspensiones demasiado prolongadas en el servicio si se da el caso que la familia no puede asumir los costes de la reparación. No obstante, dado que los mayores fallos detectados en estos sistemas resultan ser la sencilla reparación o sustitución del mecate, y puesto que en la solución se propone un fabricante local de las bombas de mecate para que su localización en caso de avería mayor o defecto de fabricación sea rápida y accesible. Así se reduce el impacto de esta cuestión de gestión individual y deja de ser un gravamen en la solución a la hora de su aplicación.

En cuanto a la **calidad** del agua obtenida, se han tenido en cuenta en el diseño un producto final que asegura los niveles adecuados ante la problemática registrada. En la primera alternativa se propone una extracción profunda, que evita la alta probabilidad de obtener aguas contaminadas de las capas superficiales y se complementa con una cloración continua, de manera que se garantice la protección frente a bacterias aún cuando el agua sea almacenada en cántaros (costumbre habitual por la actual necesidad de acarreamiento diario de la misma, y que será necesario cambiar de manera paulatina a través de las capacitaciones sobre cultura hídrica ya comentadas).

Por otro lado, el filtro de velas propuesto para la alternativa pluvial resulta quizás no tan agresivo a primera vista, pero se ha de tener en cuenta la alta calidad físico-química del agua obtenida como consecuencia de la ubicación del sistema de recolección, que minimiza la contaminación de la misma. La cuestión en este caso, derivará más bien del correcto mantenimiento del sistema de almacenamiento, con una limpieza y desinfección anual recomendada y que resulta de difícil aplicación a lo largo de todo el horizonte del proyecto. Para ello, será deseable programar alguna visita de control/recordatorio en este aspecto.

El último punto a tratar, resulta el gran escollo a salvar para la Ejecución de todos estos proyectos: el **coste**. Respecto a la alternativa de extracción profunda tenemos que el presupuesto global asciende a un total de 104.300 euros, mientras que para la alternativa unifamiliar de recogida pluvial se precisan 47.038 euros, por lo que resulta un 45 % más económica que la anterior.



## **CAPÍTULO III – CONCLUSIONES**



A lo largo de este documento, se han presentado las herramientas necesarias para el dimensionamiento de un sistema de abastecimiento de agua, con el cual cubrir las necesidades de acceso al agua de una comunidad rural situada en un país en vías de desarrollo.

En el primer capítulo, se ha presentado la problemática de acceso al agua en una rápida revisión de la situación mundial así como del contexto centroamericano, incluyéndose un análisis general de las dificultades concretas en Guatemala tanto para asegurar la calidad de sus aguas como para alcanzar las coberturas mínimas que conforman los Objetivos del Milenio. A continuación se han expuesto aquellos conceptos teóricos necesarios para la correcta comprensión y dimensionamiento de cada uno de los subsistemas que conforman una solución de abastecimiento de agua, englobando conceptos de hidráulica así como sistemas de distribución, de extracción y de filtrado. En la última sección de este primer capítulo se ha propuesto una metodología para la selección correcta de la solución de abastecimiento a cada caso, partiendo de la premisa de países en vías de desarrollo en los que la población objetivo sea eminentemente rural. De manera que a continuación, se ha expuesto el panorama general de opciones tecnológicas, presentando las opciones de cada uno de los subsistemas necesarios para una solución de abastecimiento, como son la captación de agua, la extracción, el almacenamiento y el filtrado.

En el segundo capítulo, se ha realizado la descripción de la población mediante los datos recogidos en el trabajo de campo tras la estadía financiada por la Oficina de Cooperación Universitaria en la Universidad Carlos III de Madrid, de manera que se han podido identificar dos opciones tecnológicas con las que dimensionar el sistema de abastecimiento de agua requerido por la Comunidad de Sepur en Guatemala. La primera alternativa consiste en un sistema de abastecimiento convencional, para el que se ha dimensionado todos los componentes: equipo de extracción, sistema de distribución, almacenamiento y red para el conexionado intradomiciliar. La segunda alternativa consiste en un sistema de abastecimiento no convencional, para el que también se han dimensionado los componentes necesarios: sistema de captación, almacenamiento y sistema de extracción. En ambas alternativas se ha desarrollado un listado de materiales necesarios y el presupuesto en base a las cotizaciones del lugar de estudio, además del desarrollo de un cronograma general para su implantación.

En la última sección de este capítulo se ha realizado una comparativa entre las soluciones propuestas, presentando las posibles ventajas y los posibles inconvenientes de cada uno de los sistemas. No obstante cabe señalar que las soluciones presentadas no son unívocas, pudiendo proponerse otras soluciones que se adapten mejor a las circunstancias concretas de cada población dentro del contexto en que vayan a ser implantados.

Así pues, el objetivo de este documento ha sido de hecho alcanzado, quedando todos los datos y documentaciones necesarias para la iniciar la última y ardua tarea de la búsqueda de financiación para su implantación real en la Comunidad, ya sea mediante un proyecto de mejora local, si se alcanzan los acuerdos municipales necesarios, o bien mediante un proyecto de cooperación al desarrollo, si los apoyos logrados vienen de organismos internacionales.



Finalmente, la valoración desde el punto de vista académico del tiempo dedicado a este trabajo ha resultado muy enriquecedor, pero hace patente la necesidad de que se dediquen cada vez más esfuerzos, recursos e investigación para encontrar los parámetros conceptuales y las herramientas de análisis y desarrollo tecnológicos que sean consensuados a nivel global, ya que la Ingeniería asociada a la Cooperación al Desarrollo es un amplio campo para el que es necesario armarse de paciencia debido a las increíblemente múltiples opciones de consulta y criterios de realización. Sin duda, esta cuestión es necesaria que sea académicamente abordada mediante iniciativas como las que poco a poco se van adoptando dentro de las Universidades: la formación mediante la oferta de asignaturas relacionadas con este ámbito, y la investigación mediante la creación de laboratorios experimentales para el estudio científico de estas tecnologías.

Así pues, la parametrización de muchas de las tecnologías propuestas conforma en sí misma una amplia línea de futuros trabajos académicos que puedan complementar el presentado en este documento.

Respecto a la estancia y la experiencia del trabajo de campo considero de gran valor las capacidades que he requerido desarrollar para la satisfactoria finalización de la documentación necesaria, conociendo de primera mano las enormes dificultades en cuanto a la organización de recursos y obtención de información en los organismos y municipalidades correspondientes. En el caso concreto de la ONG local, los esfuerzos por coordinar y mejorar las tareas fueron satisfactorios aunque la carencia de experiencia en desarrollo de trabajos técnicos o ingenieriles dificultó en suma las necesidades de tomas de datos necesarios. La otra gran dificultad de campo fue hacer partícipe a la Comunidad del proyecto, de manera que fueron necesarias muchas asambleas comunitarias y explicaciones a un nivel técnico básico para el entendimiento general de la propuesta, siempre mediante traductora castellano-queqchí y viceversa. Especialmente, resultó muy difícil que quedara claro que los trabajos que se realizaban no aseguraban en ningún modo la realización de los sistemas propuestos pero que abría una puerta de esperanzas a mejorar sus condiciones de vida.

Sin duda la valoración del trabajo académico durante la estancia y posteriormente en España, ha resultado de gran importancia para la adquisición de una visión global de las metodologías y las herramientas para el desarrollo de proyectos tecnológicos en los procesos de cooperación con los países en vías de desarrollo.

Personalmente, considero fundamentales las experiencias como ingeniera que pude vivir en el país cuna de la cultura maya, así como lo aprendido a través de la ONG local sobre la lucha diaria ante la enorme cantidad de retos a superar, aunque quisiera señalar que la necesidad de resolver diversos conflictos sociales que nada tenían de relación con las herramientas ingenieriles que he aprehendido en mi paso académico por la Universidad, obliga a la reflexión acerca de las dotes que ha de cultivar un(a) ingeniero(a) que quiera resolver las situaciones de necesidad tecnológica en comunidades como en la que me tocó convivir, de manera que desde mi punto de vista estos viajes pasan a ser una necesidad para una completa formación académica tanto en lo técnico y como en lo humano.



## **ANEXOS**



**Anexo 1- Mapa relieve de Guatemala (2000)**

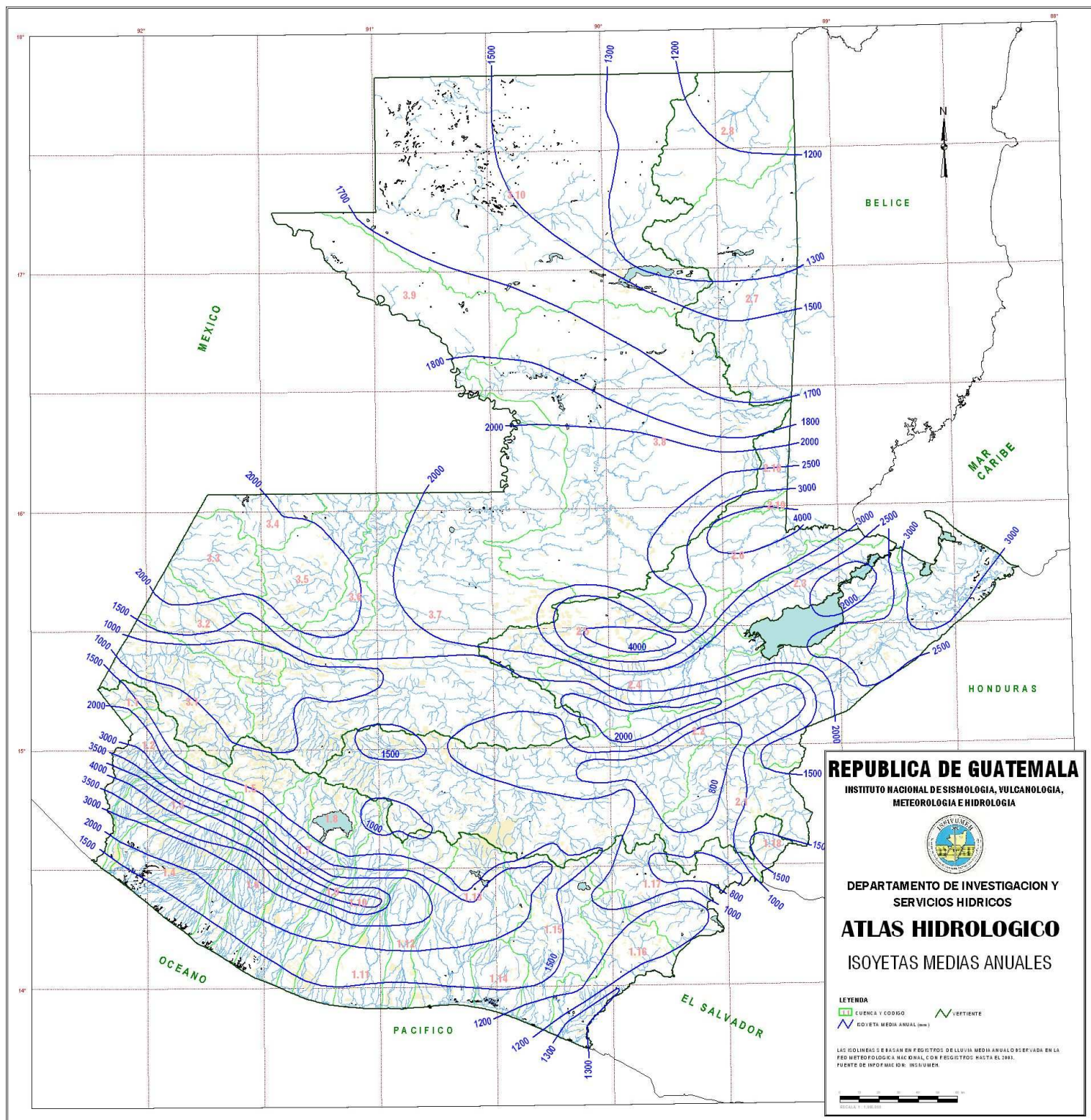








## **Anexo 2- Mapa de Isoyetas de Guatemala**





**Anexo 3- Datos de las Comunidades de Sayaxché (SNIP, 2003)**

Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia  
Sistema Nacional de Inversión Pública -SNIP-

REGIÓN: VIII  
DEPARTAMENTO: Petén  
MUNICIPIO DE: Sayaxché  
FECHA: 24 de Febrero de 2003

No.	Categoría	Nombre de la Comunidad	No. de Familias			Agua potable	Drenaje Sanitario	Letrinas	Tratamiento de Basura	Estado de las Vías de Acceso	Escuelas e instit		
				2003	2013						PR	P	B
1	Caserío	Agua Chiquita	67	402	595						1	1	
2	Caserío	Argentina	38	228	337							1	
3	Caserío	Arroyo Chinajá	70	420	622	llena cántaros		x		terracería	1	1	
4	Caserío	Arroyo Santa Amelia	22	132	195							1	
5	Caserío	Arroyo Santa María	47	282	417					terracería	1	1	
6	Caserío	Bolivia El Colorado	30	180	266					terracería	1	1	
7	Caserío	Buena Vista Cobadonga	25	150	222					terracería		1	
8	Caserío	Buenos Aires	60	276	409			x			1	1	
9	Caserío	Canahan	73	438	648	Bomba Maya				terracería		1	
10	Caserío	Caribe Río Salinas	159	954	1412	Bomba Maya		x		terracería	1	1	
11	Caserío	Champerico	76	456	675	llena cántaros						1	
12	Caserío	Chapayal	10	60	89								
13	Caserío	Chicozapote	139	834	1235	llena cántaros		x		terracería		1	
14	Caserío	Concordia	12	72	107								
15	Caserío	Cotoxá	8	48	71							1	
16	Caserío	Cruce Semuy	22	132	195	Algibes				Asfalto	1	1	
17	Caserío	El Bramadero	27	162	240							1	
18	Caserío	El Canaleño	59	354	524			x		terracería	1	1	
19	Caserío	El Caoba	25	150	222			x				1	
20	Caserío	El Casiano	55	330	488					terracería	1	1	
21	Caserío	El Cedral	14	84	124					terracería		1	
22	Caserío	El Ceibal	11	66	98							1	
23	Caserío	El Chilar	12	72	107								
24	Caserío	El Chorro	76	456	675	Domiciliar		x		terracería	1	1	
25	Caserío	El Chotal	88	528	782						1	1	

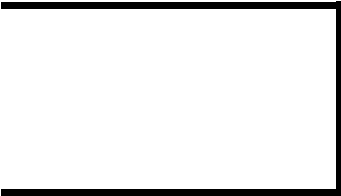
26	Caserío	El Corozal	5	30	44							
27	Caserío	El Coyo	35	210	311					terracería	1	1
28	Caserío	El Cubil	16	96	142							1
29	Caserío	El Edén	132	792	1172	Algibes	x			terracería	1	1
30	Caserío	El Escarbado	62	372	551							1
31	Caserío	El Escobo	13	78	115							1
32	Caserío	El Faisan	7	42	62							
33	Caserío	El Horizonte	22	154	228							
34	Caserío	El Jabalí	13	78	115							
35	Caserío	El Jordán	119	714	1057	Domiciliar	x			terracería	1	1
36	Caserío	El Manantial	39	234	346						1	1
37	Caserío	El Mirador	113	678	1004	llena cántaros	x			Asfalto	1	1
38	Caserío	El Mollejón	59	354	524						1	1
39	Caserío	El Nacimiento	72	432	639	Bomba Maya	x			terracería	1	1
40	Aldea	El Paraíso	136	816	1208	Domiciliar	x			asfaltada	1	1
41	Aldea	El Pato	209	1254	1856					terracería	1	1
42	Caserío	El Porvenir	28	168	249		x					1
43	Caserío	El Progreso	42	252	373		x			terracería	1	1
44	Caserío	El Puerquito	27	162	240					terracería		1
45	Caserío	El Ramonal	97	582	862	llena cántaros				terracería	1	1
46	Caserío	El Rosal	85	510	755					terracería	1	1
47	Caserío	El Rosalito	62	372	551	Algibes	x			terracería	1	1
48	Caserío	El Santuario I	58	348	515		x			terracería		1
49	Parc.	El Tamarindo I	54	324	480	Domiciliar				terracería		1
50	Parc.	El Tamarindo II	60	360	533					terracería		
51	Caserío	El Tucán	115	690	1021	Domiciliar	x			Asfalto		1
52	Caserío	El Zapote	66	396	586						1	1
53	Caserío	Entre Ríos	74	444	657					terracería		
54	Caserío	Flor de la Selva	46	276	409							1
55	Caserío	Guadalupe Arroyo San Martín	40	240	355	Bomba Maya				terracería	1	1
56	Caserío	Herencia Maya	42	252	373							
57	Caserío	Isla San Felix	7	42	62							1
58	Caserío	La Caoba	27	162	240							
59	Caserío	La Ceiba	168	1008	1492	Domiciliar	x			Asfalto		1
60	Caserío	La Cumbre	9	58	86							
61	Caserío	La Democracia	154	924	1368					terracería	1	1
62	Caserío	La Esperanza Río Arriba	65	390	577					terracería	1	1
63	Caserío	La Felicidad	78	468	693	llena cántaros				terracería		1

64	Caserío	La Gloria	29	174	258					terracería			
65	Caserío	La Isla Machaquilá	60	360	533							1	
66	Caserío	La Isla San Felipe	7	42	62								
67	Caserío	La Lucha	24	144	213							1	
68	Caserío	La Majagua	9	48	71								
69	Caserío	La Montería	46	276	409	Domiciliar	x			terracería	1	1	
70	Caserío	La Pasión	9	54	80								
71	Caserío	La Paz	35	210	311								
72	Caserío	La Reforma	28	168	249							1	
73	Caserío	La Reinita	230	1380	2043					terracería	1	1	
74	Caserío	La Soledad	119	714	1057	Pozo domic.	x			terracería	1	1	
75	Caserío	La Torre	65	390	577	Domiciliar	x			Asfalto	1	1	
76	Caserío	Las Arenas	38	228	337		x			terracería	1	1	
77	Caserío	Las Camelias	171	1026	1519	Algibes	x			asfaltado	1	1	
78	Caserío	Las Delicias Río Salinas	40	240	355							1	
79	Caserío	Las Maravillas	21	126	187					terracería		1	
80	Caserío	Las Muñecas	39	234	346	Algibes				terracería		1	
81	Caserío	Las Pacayas	115	690	1021	Domiciliar	x			terracería	1	1	
82	Caserío	Las Pavas	21	126	187								
83	Caserío	Las Pozas	369	2214	3277	Domiciliar	x			asfalto	1	1	
84	Caserío	Lo Veremos	53	318	471					terracería		1	
85	Caserío	Los Encuentros	32	192	284					terracería			
86	Parc.	Los Olivos	48	288	426		x			terracería		1	
87	Caserío	Los Raudales	50	300	444								
88	Coop.	Manos Unidas	94	564	835	Domiciliar	x			terracería	1	1	1
89	Coop.	Mario Méndez	375	2250	3331	Bomba Maya	x			terracería	1	1	1
90	Caserío	Monja Blanca	31	186	275						1	1	
91	Caserío	Monte Cristo	8	48	71								
92	Caserío	Nueva Aurora	18	108	160					terracería			
93	Caserío	Nueva Esperanza	166	996	1474	llena cántaros	x			Asfalto	1	1	1
94	Coop.	Nueva Guatemala	34	204	302					terracería		1	
95	Caserío	Nueva Jerusalén La Laguna	35	210	311		x					1	
96	Aldea	Nueva Libertad	296	1776	2629	Bomba Maya	x			terracería	1	1	
97	Caserío	Nueva Palestina	27	162	240	Bomba Maya				terracería		1	
98	Caserío	Nuevo Canahán	76	456	675							1	
99	Caserío	Nuevo Coban	18	108	160					asfalto		1	
100	Caserío	Nuevo Corosal	25	150	222								
101	Caserío	Nuevo San Fernando	62	372	551					terracería	1	1	

102	Caserío	Nuevo Sesantul	13	78	115							
103	Caserío	Palestina II	27	162	240	Bomba Maya				terracería	1	1
104	Caserío	Pico de Oro	15	90	133							
105	Caserío	Piedras Negras	27	162	240							
106	Caserío	Pozo San Román	80	480	711					terracería	1	1
107	Aldea	Rancho Alegre	381	2667	3948	Domiciliar	x			asfalto	1	1
108	Caserío	Roto Nuevo	24	144	213							1
109	Aldea	Roto Viejo	34	204	302							1
110	Caserío	Rubeltzul	163	978	1448	llena cántaros				terracería	1	1
111	Caserío	San Diego	23	138	204							
112	Caserío	San Francisco El Tumbo	75	450	666	Domiciliar				terracería		1
113	Caserío	San Joaquín	21	128	189							
114	Caserío	San José Caribe	103	618	915	Domiciliar	x			terracería	1	1
115	Caserío	San José El Mangal	54	324	480	Bomba Maya	x			terracería		1
116	Caserío	San José Las Flores	20	120	178					terracería		1
117	Caserío	San Juan	95	570	844							
118	Caserío	San Juan Acul	125	750	1110	Domiciliar	x			terracería		1
119	Caserío	San Juan Caribe	32	192	284	Algibes	x			terracería	1	1
120	Caserío	San Lucas	63	378	560					terracería		1
121	Caserío	San Luisito	33	198	293	Bomba Maya				terracería	1	1
122	Caserío	San Martín II	25	150	222					terracería	1	1
123	Caserío	San Miguel el Alto	64	384	568							1
124	Caserío	San Miguel el Alto II	64	384	568							1
125	Caserío	Santa Amelia	60	360	533							
126	Caserío	Santa Amelia II	126	756	1119	llena cántaros				terracería		1
127	Caserío	Santa Clara	6	36	53							
128	Caserío	Santa Elena. Río Salinas	52	312	462		x			terracería	1	1
129	Caserío	Santa Fé	69	414	613						1	1
130	Caserío	Santa Izabel	109	654	968	Bomba Maya				terracería		1
131	Caserío	Santa Lucía	24	144	213							
132	Caserío	Santa María	48	288	426					terracería		1
133	Caserío	Santa Mónica	48	288	426							1
134	Caserío	Santa Rita	96	576	853					terracería		1
135	Coop.	Santa Rosa La Laguna	93	558	826	llena cántaros	x			asfaltado		1
136	Caserío	Santo Domingo	66	396	586					terracería	1	1
137	Parc.	Santo Tomás	103	618	915	Domiciliar	x			terracería	1	1
138	Caserío	Santuario II	40	240	355							



139	Cab.	Sayaxché, Cab. M.	1560	7800	11546								
140	Caserío	Sebalam Finca Virginia	67	402	595							1	
141	Caserío	Secoy	97	582	862								
142	Caserío	Semó	20	120	178								
143	Caserío	Semoxán	37	222	329								
144	Caserío	Semuy	44	264	391		x		terracería		1		
145	Caserío	Sepamac	37	222	329	Algibes	x		terracería		1		
146	Caserío	Sepens	80	480	711	Domiciliar	x		terracería	1	1		
147	Caserío	Sepur	60	360	533	llena cántaros	x		terracería	1	1		
148	Caserío	Setul	219	1314	1945	Domiciliar			terracería		1		
149	Caserío	Subín II	11	66	98						1		
150	Caserío	Susan Meimi Mitch	20	120	178				asfalto				
151	Caserío	Tezulutlán I	81	486	719				terracería	1	1		
152	Caserío	Tezulutlán II	25	150	222		x		terracería		1		
153	Aldea	Tierra Blanca	475	2850	4219	Domiciliar	x		terracería	1	1	1	
154	Caserío	Tierra Linda	76	456	675				asfalto		1		
155	Caserío	Tres Islas	29	174	258						1		
156	Caserío	Tuzbilpec	18	108	160								
157	Caserío	Ucanal	37	222	329				terracería		1		
158	Caserío	Unión el Pozo	105	630	933	Domiciliar			terracería		1		
159	Caserío	Yalcachimba	35	210	311				terracería				
160	Caserío	Zaragoza	29	174	258				terracería		1		
			12267	72361	107112	0	0	0	0	0	58	120	7



Autos	Energía Eléctrica	Puesto y Centro de salud
D		
	1 panel sol	U.mínima
		U. mínima
	1 panel sol	U.minima
	INDE	
	INDE	U.mínima
		U.mínima
		U.Mínima
		U.mínima
		U.mínima
	1 panel sol	U.mínima
		U.mínima
		U.minima

		U.minima
		U.minima
		U.mínima
		U.mínima
		C.comber
	1 panel sol	U.mínima
	1 panel sol	U.minima
		C.comber
		Puesto S.
		U.mínima
	1 panel sol	U.mínima
		U.mínima
	1 panel sol	U.mínima
		U.mínima
		C.comber
		U.mínima
		U.minima
		C.comber
		U.mínima
		U.Mínima

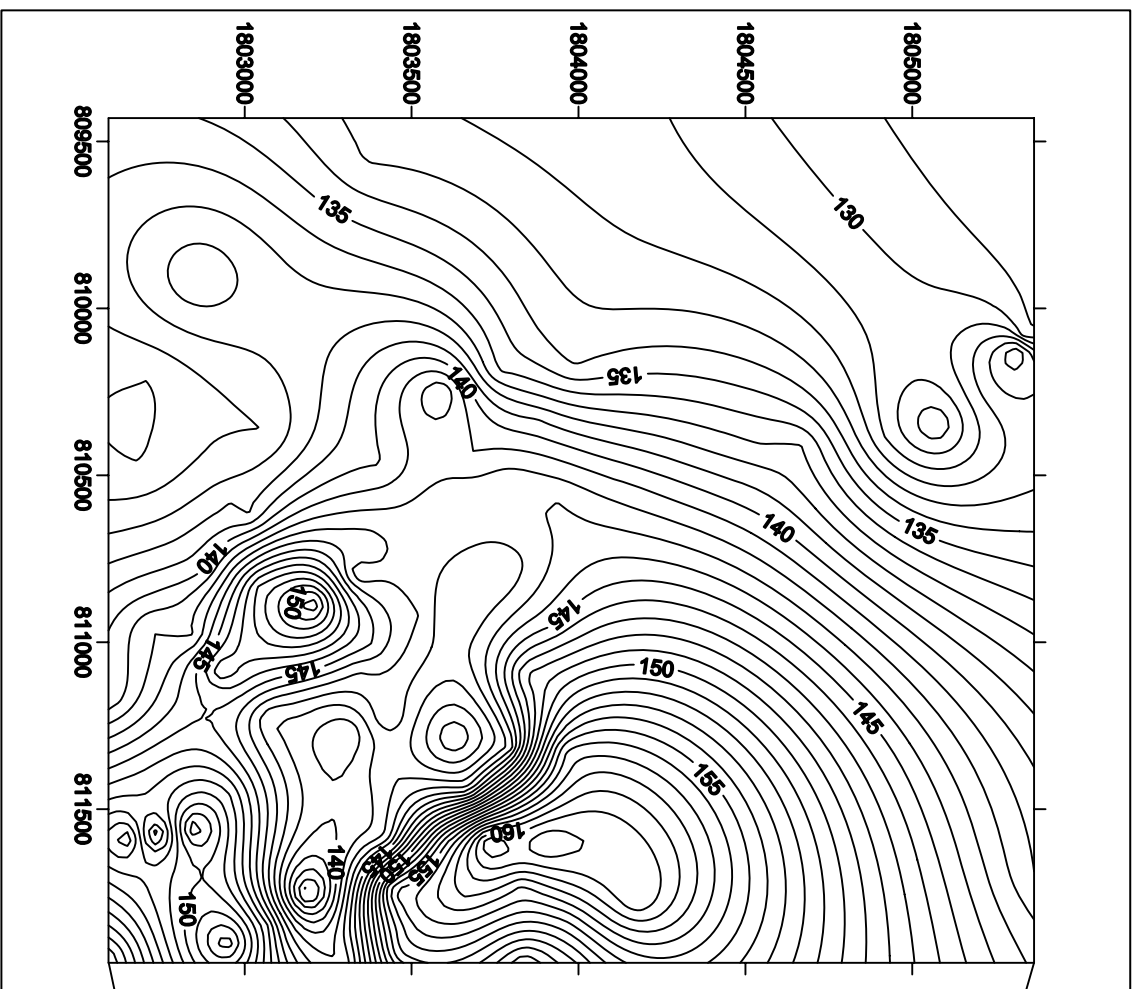
	1 panel sol	U.minima
		C.comber
	1 panel sol	
		U.mínima
		U.mínima
		C-comber
		U.mínima
		U.mínima
		C.comber
		C.comber
		U.mínima
	INDE	P. salud
	INDE	C.comber
		U.mínima
		C.comber
		U.mínima
	INDE	Puesto S.
		U.mínima
		U.mínima

		U.mínima
	INDE	Puesto S.
		U.Mínima
	INDE	C.comber
		U.Mínima
	INDE	U.Mínima
		U.mínima
	INDE	U.mínima
	1 panel sol	
		U.mínima
		U.mínima
	1 panel sol	
	1 panel sol	
		U.mínima
	1 panel so.	U.mínima
		U.mínima
		u.mínima

	INDE	
		u.mínima
		U.mínima
		U.mínima
		U.minima
		U.mínima
	INDE	U.Mínima
		U.minima
		U.mínima
		C.comber
		U.mínima
	INDE	
		U.mínima
0	0	0



#### **Anexo 4- Plano topográfico**



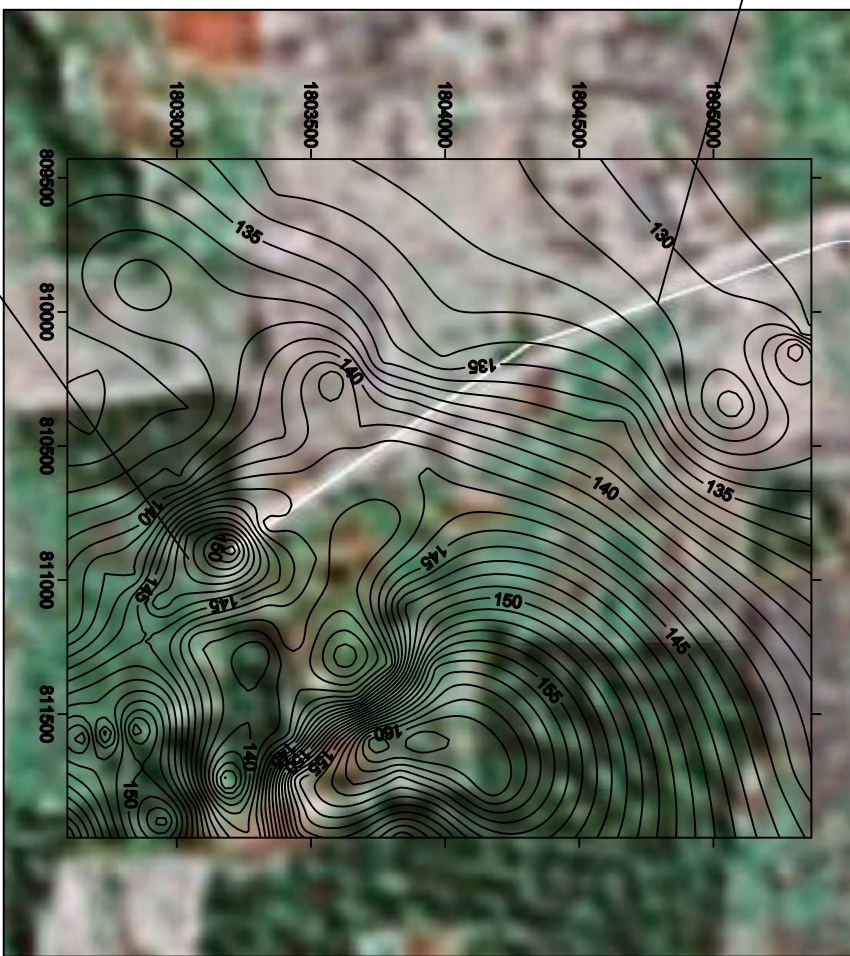
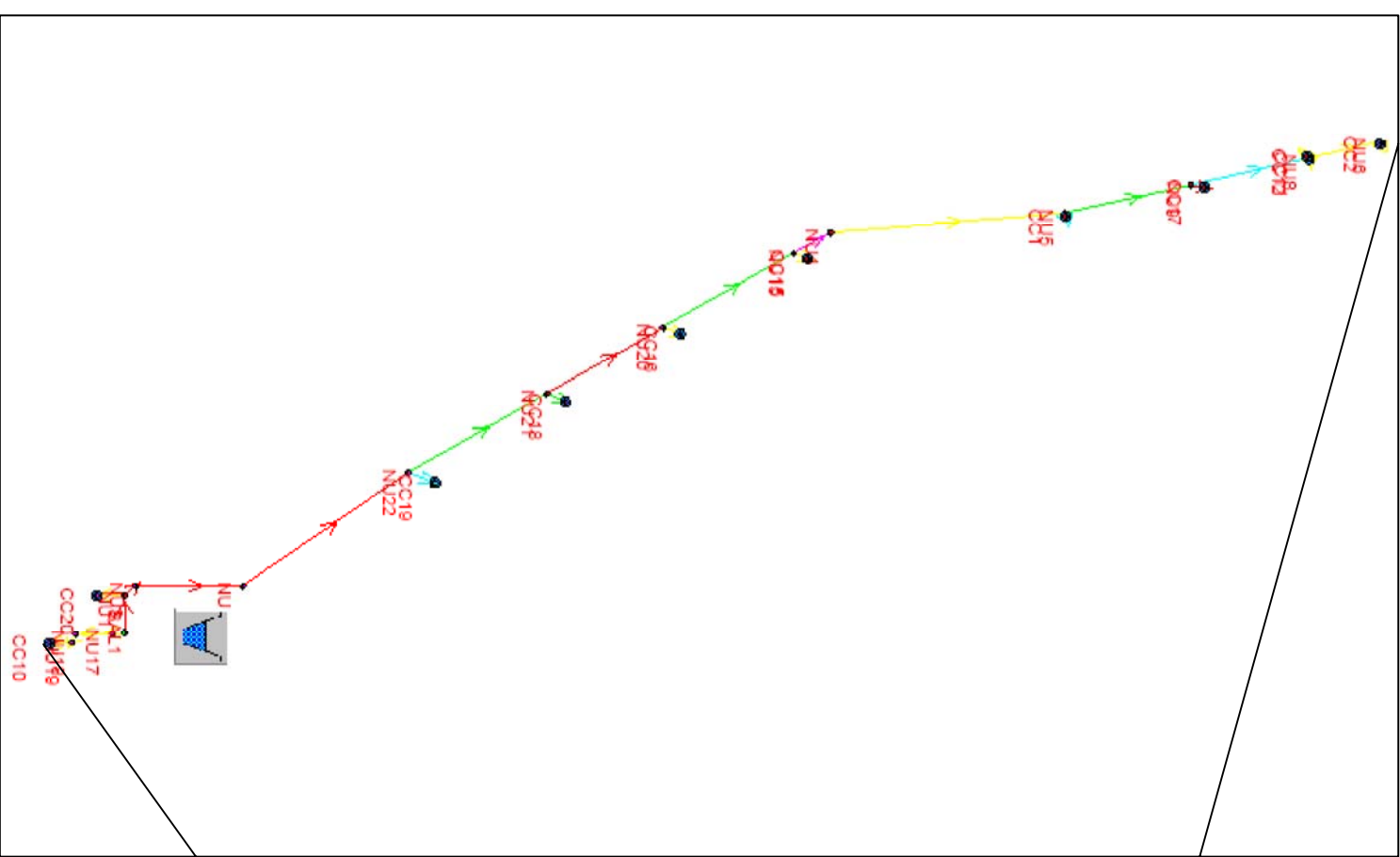
Ubicación:		Comunidad SEPUR	
		- El Petén , Guatemala	
Tipo plano:		Topográfico	
Fecha:		15/11/2007	
Realizado:		LAURA BELLO JIMÉNEZ	
PFC:		Diseño de un sistema de abastecimiento de agua en una comunidad rural de Guatemala	







**Anexo 5- Plano de Red de distribución por gravedad**



Ubicación:		Comunidad SEPUR - El Petén , Guatemala	
Tipo plano:		Red de Distribución	
		Fecha:	15/11/2007
		Realizado:	LAURA BELLIDO JIMÉNEZ
		Proyecto:	Diseño de un sistema de abastecimiento de agua en una comunidad rural de Guatemala



**Anexo 6- Catálogo comercial Q-Beta**

# QBeta®

FILTRO DE AGUA

## Instrucciones

Las candelas de cerámica **British Berkefeld** que utiliza este filtro están diseñadas para atrapar bacterias peligrosas causantes de enfermedades como el Cólera y la Disentería.

Siga las instrucciones y este filtro le proporcionará agua pura por mucho tiempo.

## Ensamble

- Es importante lavarse bien las manos antes de manipular las piezas, para evitar contaminarlas.
- Coloque una roldana de hule (1) en la base de cada candela (2).
- Inserte las candelas a través de los agujeros (3) de la base de la cubeta superior (4).
- Inserte las otras dos roldanas plásticas (5) en el tornillo de cada candela (6) para que quede entre la cubeta pequeña y la tapadera de la cubeta inferior.
- Asegure las candelas utilizando las tuercas de mariposa (7). No apriete demasiado, pero evite que queden flojas.
- Retire la cinta protectora del agujero de la cubeta inferior (8). Asegure la válvula dispensadora colocando una roldana plástica por fuera (9) y otra por dentro (10). Apriete la tuerca (11) por el lado de adentro. Debe quedar bien apretada.
- Coloque la cubeta superior (4) encima de la inferior (8).

## Operación

- Compruebe que la válvula dispensadora esté cerrada.
- Llene la cubeta superior con agua y coloque la tapadera.
- No utilice el agua filtrada la primera vez, ya que puede contener material suelto de las candelas.

- El filtro producirá aproximadamente 10 galones cada 24 horas.
- Llene la cubeta superior antes de dormirse por la noche para tener suficiente agua filtrada al amanecer.

## ¿Cómo trabaja el filtro?

Cerámica lavable para uso extendido cuando se está filtrando agua turbia (ver mantenimiento impreso en cubeta superior)

**British Berkefeld** – La cerámica bañada en plata es la más reciente tecnología que reduce el *Cryptosporidium* y otras esporas y reduce las partículas retenidas y otras turbiedades.

FLUJO DE AGUA

El carbón granulado activo reduce el nivel de los componentes químicos y orgánicos.

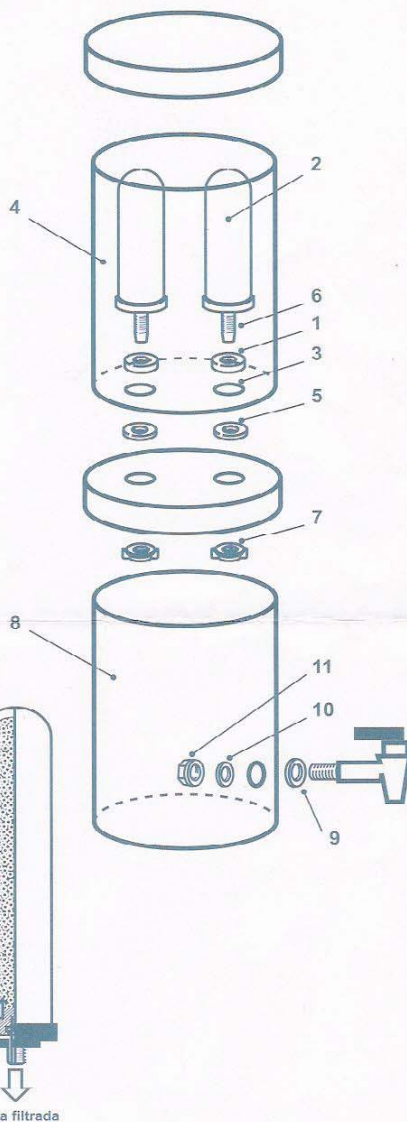
La etapa final del filtro previene el paso de los carbones finos.

## ¿Qué remueve el filtro?

Un programa riguroso tanto como de las pruebas internas y externas de **British Berkefeld** a filtros de agua aseguran una verificación completa que el rendimiento del producto trabaja así:

- Eficiente filtración absoluta de 0.9 micras
- Por partículas de 0.5 a 0.8 micras una filtración eficiente mayor del 99.99%
- Reduce la turbiedad con una eficiencia mayor del 99.7 %
- Certificado por laboratorios independientes para remover parásitos y bacterias patógenas como:

-E. Coli	-Klebsiella
-Colera	-Shigella
-Salmonella	-Giardia



Un producto de **BOMBAGUA** • Teléfono 5502 5596 • e-mail [bombagua@terrax.com.gt](mailto:bombagua@terrax.com.gt)



## **Anexo 7- Guía para la desinfección correcta de Cisternas**

### **a) LIMPIEZA DE CISTERNAS**

a.1- Si la cisterna contara con una válvula de limpieza y descarga a desagüe pluvial, se agotará el contenido de la misma hasta un tercio de su capacidad.

a.2- En caso de no poseer válvula de limpieza, el vaciado hasta un tercio de su capacidad se hará a través de la bomba de alimentación al tanque de reserva más cercano, teniendo la precaución de dejar abierta la llave de limpieza del mismo.

a.3- A continuación con un cepillo de paja dura (nuevo) se limpiará a fondo el techo, las paredes y el piso utilizando al efecto agua ya existente, a la que no se agregará ningún elemento para la limpieza, detergente, lavandina, etc.

a.4- Se vacía totalmente y se enjuaga una o más veces, de acuerdo a los residuos acumulados, eliminando el agua del lavado a través de la válvula de limpieza. Si la cisterna no contara con este elemento de evacuación del líquido se efectuará a través de una bomba de achique o mediante recipientes

Si no se notara suciedad en exceso o en caso de observarse restos de revoque o arenillas que no afectaran el normal funcionamiento de la bomba de alimentación y resto del sistema, podrá utilizarse ésta para la extracción del agua de limpieza y enjuague y evacuarla por la válvula de limpieza del tanque más próxima.

### **b) DESINFECCIÓN DE CISTERNAS**

b.1- Efectuada la reparación y limpieza de las cisternas, tanques, cañerías y artefactos. Se procede al operativo de desinfección, comenzándose por las primeras y se continúa con los tanques de reserva más cercanos si los hubiera.

b.2- Se procede a llenar la cisterna o el tanque hasta un tercio de su capacidad. Agregándole en ese momento 40 cm de lavandina concentrada por cada m<sup>3</sup> (aprox. un pocillo de café), de capacidad del tanque o cisterna y se completará con el llenado completo de los mismos.

b.3.- Una vez efectuada las operaciones mencionadas en todos los tanques y cisternas, se procederá a abrir todas las canillas, comenzando por la más alejada. Al sentir olor a lavandina se cerrará la misma prosiguiéndose con las restantes hasta terminar con el total de ellas.

b.4.- Se deja en reposo todo el sistema por un periodo de 3 horas como mínimo (no se abrirá ninguna canilla ni se utilizará inodoros, bidets, etc. Transcurrido ese tiempo se abrirán todos los grifos hasta desagotar todos los tanques.

b.5.- Se pone en funcionamiento el equipo de bombeo de la cisterna y se procede a llenar y vaciar los tanques de reserva (enjuagues) tantas veces como fuera necesario hasta lograr en la canilla más alejada olor y gusto normal en el agua.

Si se contara con un juego comparador para determinación de cloro residual por el método de la ortotoluidina y otro similar, el valor del mismo, estará según las normas vigentes, en el orden de 0.1 a 0,3 p.p.m o miligramos por litro. Logrando este valor, el agua apta para beber.

### **RECOMENDACIONES**

En el caso de cisternas enterradas, una vez efectuada la operación de limpieza, se procederá a secar bien a fondo con trapos nuevos para pisos, el techo, las paredes y pisos. Posteriormente se procederá a revisar el recinto de la cisterna (si es posible con una lámpara portátil o elemento similar) si se notaran manchas de humedad o filtraciones, la



misma indican contaminación externa por lo que deberá repararse la parte afectada antes de proceder a la desinfección.

La lavandina concentrada a utilizarse para la desinfección deberá ser de fabricación reciente y marca acreditada. Se evitará en lo posible el uso de la misma cuando el tiempo de almacenamiento o exposición a los rayos solares o luz haya sido prologado.

Deberán tomarse las precauciones del caso a fin de evitar la ingestión del agua en pleno proceso de desinfección como así la de lavado y enjuague en virtud de ser ellas no apta para consumo.

Finalizado el operativo limpieza y desinfección dejar transcurrir un periodo calculado en 5 a 6 días, tiempo prudencial para la entrada en régimen del sistema y efectuar un nuevo examen bacteriológico. Si éste resultara positivo deberá determinarse la posible ubicación del foco infeccioso y proceder a su eliminación.

Es aconsejable realizar el operativo limpieza y desinfección una vez al año, preferentemente antes de la llegada del verano.

Si el tanque es de capacidad mayor a 4.000 litros, generalmente estará dividido en dos compartimientos. En estos casos, la limpieza y desinfección se hará en forma individual a fin de no interrumpir el suministro de agua. Si el colector cuenta con válvula de limpieza y llave de paso individual, se cerrarán la llave de paso y válvula de limpieza de uno de ellos para su limpieza y desinfección, quedando el restante en funcionamiento. Terminada esa tarea con el primer compartimiento, se comenzará con el segundo hasta el momento de la desinfección procediéndose entonces como se indica en los puntos b.2 y b.3

Todo tanque con capacidad superior a 1m<sup>3</sup> cuenta con tapa de entrada al mismo compartimiento. Si se cierra herméticamente con juntas de goma abulonadas, en caso de roturas de éstas, el cierre se efectuará con masilla plástica.

Si en red de alimentación existen tramos en mal estado de conservación, pérdida por fisuras o deficiencias que pudiera contaminar el agua de bebida, éstas deberán repararse convenientemente a fin de evitar posibles recontaminaciones



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Naciones Unidas. *Programa Conjunto de Monitoreo. Evaluación a mitad de período*, 2004.
- [2] World Health Organization&UNICEF. *Meeting the MDG drinking water and sanitation target : the urban and rural challenge of the decade*, 2006.
- [3] Naciones Unidas. *Informe Objetivos de desarrollo del Milenio*, 2005.
- [4] Cajina Canelo, Mauricio José. *Alternativas de captación de agua para uso humano y productivo en la subcuenca del río Aguas Calientes, Nicaragua*. Tesis, 2006.
- [5] Universidad Rafael Landívar, Instituto de Incidencia Ambiental (2005). *Perfil ambiental de la República de Guatemala 2005 (PERFAM)*.
- [6] Universidad Rafael Landívar, Instituto de Incidencia Ambiental (2006). *Perfil ambiental de la República de Guatemala 2006 (PERFAM)*.
- [7] Segeplan. *Informe de Avances hacia el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio en Guatemala*, 2007.
- [8] International Center for Aquaculture. *Introducción a la Captación del Agua*, 2002.
- [9] [www.who.int/water\\_sanitation\\_health](http://www.who.int/water_sanitation_health)
- [10] Tomillo Gutiérrez, Unai. *Estudio acerca del empleo de la bomba manual de agua en el ámbito rural en países en vías de desarrollo*. Universidad Carlos III de Madrid, proyecto fin de carrera, 2006
- [11] Guy Howard and Jamie Bartram. *Domestic Water Quantity, Service Level and Health*, World Health Organization, 2003
- [12] López Andrés, Lázaro. *Manual de Hidráulica*. Textos docentes, Publicaciones de la Universidad de Alicante, 1997.
- [13] EPANET 2.0 *Análisis hidráulico y de Calidad en redes de distribución de Agua, Manual del usuario*. Universidad Politécnica de Valencia, octubre 2002.
- [14] Varios autores y la Associació Catalana d'Enginyeria Sense Fronteres. *Abastecimiento de Agua y Saneamiento. Tecnología para el Desarrollo Humano y acceso a los servicios básicos*, Abril 2005.
- [15] Rojas, Ricardo. *Calidad del Agua Intradomiciliaria*. Organización Panamericana de Salud, 2003.
- [16] Organización Panamericana de Salud. *Guía para el mejoramiento de la calidad del agua a nivel casero*, 2005.
- [18] Organización Panamericana de Salud. *Consideraciones para la selección de la opción tecnológica y nivel de servicio en sistemas de abastecimiento de agua*, 2006.
- [19] Organización Panamericana de Salud. *Tecnologías Apropriadas en Agua y Saneamiento*, e-curso de autoinstrucción ([www.cepis.ops-oms.org/tecnologia](http://www.cepis.ops-oms.org/tecnologia)), 2006.
- [20] CEPIS/SDE-Organización Panamericana de Salud. *Opciones tecnológicas y niveles de servicio para el abastecimiento y distribución de agua*, 2006.
- [21] Organización Panamericana de Salud. *Manual de perforación manual de pozos y equipamiento con bombas manuales*, 2004.
- [22] Unidad de apoyo técnico para el saneamiento básico del área rural (UNATSABAR). *Especificaciones Técnicas: Captación de agua de lluvia para consumo humano*, 2003



- [23] Ingeniería Sin Fronteras. *Abastecimiento de Agua y Saneamiento*, 2005.
- [24] Unidad de apoyo técnico para el saneamiento básico del área rural (UNATSABAR). *Guía de diseño para captación del agua de lluvia*, 2001.
- [25] Microfiche Reference Library (AT Library). *Construction manual of ferrocement water tank*, 1983.
- [26] Department for Environment Heritage and aboriginal Affaire. *Rainwater tanks, their selection, use and maintenance*, 1999.
- [27] OXFAM&E Ingeniería Sin Fronteras. *Manual of Technical Criteria water design*, 2003.
- [28] Unidad de apoyo técnico para el saneamiento básico del área rural (UNATSABAR). *Hoja técnica construcción, operación y mantenimiento del filtro de arena*, 2001.
- [29] Organización Panamericana de Salud. *Diseño filtro casero indígenas*, 2002
- [30] RASGUA&Proyect Concern Internacional . *Experiencias de tecnologías de agua y saneamiento a nivel rural de Guatemala*, Mayo 2006
- [31] Servicio De Información Municipal (SIM) de Inforpress Centroamericana [www.inforpressca.com/sayaxche](http://www.inforpressca.com/sayaxche).



